This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

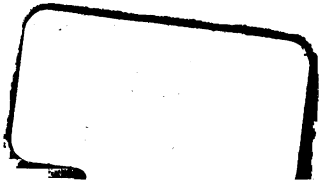
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

PROPERTY OF
University of Michigan Libraries
1817
ARTES SCIENTIA VERITAS



Q
175
.D279
1919

Nouvelle Collection scientifique
Directeur : Émile Borel.

De la Méthode dans les Sciences

Deuxième Série

Par MM. :

B. BAILLAUD (de l'Institut),
Léon BERTRAND (Sorbonne), **L. BLARINGHEM** (Sorbonne),
Émile BOREL (Sorbonne), **Gustave LANSON** (Sorbonne),
Lucien MARCH (Directeur de la Statistique générale de la France),
A. MEILLET (Collège de France),
Jean PERRIN (Sorbonne), **Salomon REINACH** (de l'Institut),
R. ZEILLER (de l'Institut).

CINQUIÈME MILLE

LIBRAIRIE FÉLIX ALCAN

Prix annuel
6f75 net

De la Méthode

dans

les Sciences

DEUXIÈME SÉRIE

NOUVELLE COLLECTION SCIENTIFIQUE

Directeur : ÉMILE BOREL

Volumes in-16 à 3 fr. 50 l'un.

De la Méthode dans les Sciences. *Première Série.* Par MM. P.-F. THOMAS, prof. de philosophie au lycée Hoche. Emile PICARD, de l'Institut, J. TANNERY, de l'Institut. P. PAINLEVÉ, de l'Institut. BOUASSE, professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse. JOB, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers. A. GIARD, de l'Institut. F. LE DANTEC, chargé de cours à la Sorbonne. Pierre DELBET, professeur à la Faculté de Médecine de Paris. Th. RIBOT, de l'Institut. DURKHEIM, professeur à la Sorbonne. LÉVY-BRUHL, professeur à la Sorbonne. G. MONOD, de l'Institut. 4e édit. 1 vol. in-16. . . . . 3 fr. 50

L'Évolution des Plantes, par NOËL BERNARD, professeur à l'Université de Poitiers, préface de M. COSTANTIN, de l'Institut, avec figures.

Le Combat, par le général PERCIN, 2e éd.

Le Hasard, par EM. BOREL.

Henri Poincaré, l'œuvre scientifique, l'œuvre philosophique, par V. VOLTERRA, J. HADAMARD, P. LANGEVIN, P. BOUTROUX.

Le Froid industriel, par L. MARCHIS, professeur à la Faculté des sciences de Paris. Avec 104 fig.

Le Système du Monde, *des Chaldéens à Newton*, par J. SAGERET, HI.

L'Aviation, par PAUL PAINLEVÉ, EMILE BOREL et CH. MAURAIN, 6e édit., revue et augmentée. Avec 48 figures.

L'Artillerie de campagne, *son histoire, son évolution*, par le lieut.-colonel BUAT. 1 vol. avec 73 gravures

La Question de la Population, par P. LEROY-BEAULIEU, membre de l'Institut, professeur au Collège de France (*Récompensé par l'Institut*), 3e édition.

Les Atomes, par JEAN PERRIN, professeur de chimie physique à la Sorbonne. Avec gravures, 5e édit. (*Couronné par l'Académie des Sciences*).

Le Maroc physique, par L. GENTIL, prof. adjoint à la Sorbonne, directeur de l'Institut de recherches scientifiques de Rabat. Avec cartes.

La Race slave, par NIEDERLE, prof. à l'Université de Prague, traduit et précédé d'une préface par LOUIS LÉGER, de l'Institut. 2e édit. avec préface nouvelle, 1916, avec une carte coloriée.

La Conception mécanique de la Vie, par J. LOEB, professeur à l'Université de Berkeley. Traduit de l'anglais par H. MOUTON, avec 58 figures, 1914.

Troubles Mentaux et Troubles Nerveux de Guerre, par GEORGES DUMAS, professeur de Psychologie expérimentale à la Sorbonne.

Éléments de philosophie biologique, par F. LE DANTEC, chargé du cours de biologie générale à la Sorbonne. 2e édit., 1 vol. in-16 . . . . . 3 fr. 50

La Voix. *Sa culture physiologique. Théorie nouvelle de la phonation*, par le Dr P. BONNIER, laryngologiste de la clinique médicale de l'Hôtel-Dieu. 3e édition. 1 vol. in-16 illustré . . . . . 3 fr. 50

L'Éducation dans la Famille. *Les Péchés des parents*, par P.-F. THOMAS, professeur au lycée de Versailles. 5e mille. 1 volume in-16 (*couronné par l'Institut*) . . . . . 3 fr. 50

La Crise du Transformisme, par F. LE DANTEC. 2e édit. 1 vol. in-16. . . 3 fr. 50

L'Énergie, par W. OSTWALD, professeur honoraire à l'Université de Leipzig. Traduit de l'allemand par *E. Philippi*, licencié ès sciences, 3e édition. 1 volume in-16 . . . . . 3 fr. 50

Les États physiques de la Matière, par CH. MAURAIN, professeur à la Faculté des Sciences de Caen. 2e édit. 1 vol. in-16 illustré . . . . . 3 fr. 50

La Chimie de la Matière vivante, par Jacques DUCLAUX, préparateur à l'Institut Pasteur. 2e édition. 1 volume in-16 . . . . . 3 fr. 50

L'Évolution des théories géologiques, par STANISLAS MEUNIER, prof. de géologie au Muséum d'histoire naturelle. 1 vol. in-16, avec gravures. . . . 3 fr. 50

Envoi franco, contre **mandat-poste**

De la Méthode
dans
les Sciences

Deuxième Série

Par MM.

B. BAILLAUD (de l'Institut),
Léon BERTRAND (Sorbonne), **L. BLARINGHEM** (Sorbonne),
Émile BOREL (Sorbonne), **Gustave LANSON** (Sorbonne),
Lucien MARCH (Directeur de la Statistique générale de la France),
A. MEILLET (Collège de France),
Jean PERRIN (Sorbonne), **Salomon REINACH** (de l'Institut),
R. ZEILLER (de l'Institut).

CINQUIÈME MILLE

LIBRAIRIE FELIX ALCAN
108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS

1919

Tous droits de traduction et de reproduction réservés.

Copyright 1911
by Félix Alcan and R. Lisbonne,
proprietors of librairie Félix Alcan.

Q
175
.D279
1917

AVANT-PROPOS

Cette « seconde série » d'études sur la Méthode dans les Sciences est assez différente de la « première série ». Ce premier volume est divisé en chapitres dont les titres sont suffisamment généraux pour embrasser à la rigueur toutes les connaissances humaines ; la *linguistique* ou la *statistique* sont des « sciences sociales » ; la *botanique* est « physiologie » ou « morphologie » ; bref, il n'est pas un des chapitres du nouveau livre qui ne pourrait être considéré comme un sous-chapitre du livre précédent. Mais on se rend bien compte que cette subdivision plus grande de la matière entraîne une différence de point de vue, je dirais même volontiers une différence de méthode.

On pourrait essayer de caractériser cette différence en disant que ce second volume envisage les méthodes d'un point de vue moins philosophique, mais plus technique : ce langage est médiocre, car la philosophie ne s'oppose pas absolument à la technique,

mais il exprime cependant une part de la pensée qu'on a eue en préparant cette seconde série. On a jugé qu'il n'était pas sans intérêt de demander à des spécialistes l'exposition de la méthode de leur spécialité, fût-elle relativement étroite ; de tels exposés ne pouvaient prétendre embrasser la science tout entière : on les a choisis avec soin, de manière à éviter tout double emploi avec la première série et à combler les quelques lacunes qui avaient pu y être signalées. Mais on ne se dissimule pas quel arbitraire comportait ce choix ; du moment que l'on subdivisait les cadres très généraux, le nombre des subdivisions devenait vite trop considérable pour qu'il fût possible de les insérer toutes : cela n'eût d'ailleurs pas été désirable, car on ne se proposait nullement de donner un tableau complet de la science humaine.

Le but plus modeste, qu'on espère avoir atteint, était de montrer sur des exemples particuliers, mais assez variés et assez nets, quelles méthodes conduisent à la connaissance de la vérité et quelle confiance ces méthodes inspirent à ceux qui les appliquent, quelle que soit d'ailleurs la diversité de leurs opinions métaphysiques. Il a semblé que ce serait la meilleure réponse à ceux qui doutent de la raison humaine et lui opposent, dissimulées sous une phraséologie plus ou moins vague,

plus ou moins éloquente, les conclusions de la « pratique ». A la « pratique » des hommes ignorants ou volontairement munis d'œillères, il est peut-être permis d'opposer la « pratique » des hommes d'élite qui dans les laboratoires, les observatoires, les bibliothèques, se consacrent au travail désintéressé ; leur vie entière est un acte de foi en la raison humaine[1].

Telle est la philosophie qui me semble se dégager du contact un peu prolongé avec tout chercheur qui fait œuvre personnelle en un domaine quelconque ; rien ne vaut d'ailleurs, pour faire comprendre ce qu'est la science, ce contact personnel avec la recherche ; les chapitres qui suivent le suppléent dans la mesure où il peut l'être ; si quelque lecteur se trouve incité à étudier de plus près l'une des sciences dont il est question et y devient lui-même un ouvrier modeste ou illustre, ce sera la meilleure récompense des collaborateurs de ce livre.

Émile BOREL.

1. Après avoir écrit ces lignes, je retrouve des idées analogues exprimées sous une forme très pure, dans le discours prononcé par M. Émile Picard. Président de l'Académie des sciences, à la séance publique du 19 décembre 1910 : « Comme le disait Claude Bernard, « avant de faire de la science, il faut croire à la science. » Nous avons tous ici cette croyance, et, quand nous nous livrons à nos raisonnements ou à nos expériences, nous ne nous embarrassons pas des discussions chères aux philosophes de tous les temps, sur le réel et sur l'[illegible]. »

DE LA MÉTHODE
DANS LES SCIENCES

ASTRONOMIE
JUSQU'AU MILIEU DU XVIIIe SIÈCLE

APERÇU ET MÉTHODES[1]

Ante mare et terras, et, quod tegit omnia, cœlum,
Unus erat toto naturæ vultus in orbe,
Quem dixere Chaos...

On peut admettre que ces vers d'Ovide résumaient les idées des anciens sur les origines du monde. Après deux mille ans, il semble qu'ils auraient pu être écrits par un des maîtres de l'astronomie contemporaine. Nous nous proposons, dans ces pages, de suivre les progrès réalisés par l'esprit humain dans la connaissance de l'Univers céleste sorti de ce chaos. Nous verrons que, si la mine des recherches est inépuisable, les efforts des philosophes, des physiciens, des astronomes n'ont pas été stériles. Mais, en ce qui concerne le chaos primitif lui-même, nous sommes réduits à constater que tout est encore à

. Dans cette étude, l'auteur a largement profité des ouvrages
rants : DELAMBRE, *Histoire de l'astronomie;* Paul TANNERY, *Hiss
e de l'Astronomie ancienne ;* SCHIAPARELLI, *Astronomia presso i
ylonesi* (Scientia VI et VII). Duhem, Σώζειν τὰ Φαινόμενα. Essai
théorie physique de Platon à Galilée. (*Ann. de phil. chrét.*).

apprendre, bien que l'on puisse penser que le temps n'est pas éloigné, peut-être, où nous pourrons formuler quelques précisions.

L'astronomie n'est pas une science simple, ayant une méthode qui lui soit propre. L'énoncé de son problème est bref : l'étude des corps célestes. Mais combien ces trois mots sont complexes ! A combien de points de vue pourrait être envisagée cette étude ! Et pourtant, combien peu nombreuses sont les directions dans lesquelles l'homme a pu l'aborder !

Une longue période, sans doute, s'est écoulée avant que l'homme ait entrepris l'étude systématique du ciel étoilé. Dans les pays d'Orient d'où sont venues les premières notions astronomiques, les nuits souvent claires ont offert aux hommes un merveilleux spectacle et, sans qu'il fût tenu registre d'observations proprement dites, la notion de l'invariabilité des figures formées par les étoiles brillantes s'est, tout d'abord, imposée à tous. Mais « l'astronomie née partout est restée presque partout brute et dans l'enfance » (Halma, préface de l'*Almageste*, 1813). Gyldén admet que les constellations ont des origines diverses qui demeurent inconnues.

A la période purement populaire de l'astronomie se rattache la première constatation des mouvements de la Lune et des planètes principales à travers le ciel étoilé. La connaissance du mouvement du Soleil, qui ne se voit pas en même temps que les étoiles, a exigé un effort de réflexion déjà sensible. Cependant l'ensemble des connaissances relatives à l'isolement de la Terre dans l'espace, au mouvement diurne de la sphère étoilée, aux déplacements des Planète

de la Lune et du Soleil a été l'œuvre de tous. En même temps que cet ensemble de notions s'est constitué, se développait la pratique de la divination des événements d'après les circonstances spéciales qu'offrait le cours des astres. La période populaire de l'astronomie fut aussi une période fabuleuse, et, plus tard, même jusqu'à nos jours, le caractère de certitude qu'a offert la science, à la suite des découvertes faites par les plus grands génies, n'a pas suffi à détruire, parmi les peuples, les idées les plus dénuées de fondement au sujet des influences qu'auraient les astres sur les actes de la vie animale ou végétale, même sur ceux des hommes. Le contraire s'est peut-être produit en quelque mesure, et l'admiration qu'ont les peuples pour la certitude des prévisions des astronomes semble les avoir portés à regarder comme non moins certaines nombre de maximes léguées par les anciens astrologues. Nous ne sommes pas encore à la veille de voir disparaître les croyances de cette sorte les plus ridicules et les plus contredites chaque jour par la réalité.

Peut-être a-t-il existé quelque part une astronomie assez avancée dont le lieu et la date sont entièrement perdus, dont une trace resterait dans le nom conservé à l'une des variétés des mois lunaires, le mois *draconitique*. « Cette épi-
« thète, dit Paul Tannery, se relie aux expres-
« sions de tête et de queue du dragon usitées
« pour désigner les nœuds de l'orbite de la Lune.
« (: la tradition astrologique qui a conservé
« (bris d'une antique explication des éclipses.
« monstre céleste, ordinairement invisible,
« : alait sa présence par ces phénomènes

« dont la périodicité, pour irrégulière qu'elle fût, « permettait non seulement de reconnaître son « action, mais encore de calculer ses mouve- « ments. »

Laplace dit que les Chinois, plus de 2.000 ans avant notre ère, cultivaient l'astronomie et en faisaient la base de leurs cérémonies. Ils connaissaient la semaine dont l'origine est entièrement perdue dans la nuit des temps. Ils divisaient les degrés, les poids et les mesures linéaires, et le jour, en parties décimales. L'empereur Tschu-Kong, onze cents ans avant notre ère, avait déterminé, pour l'obliquité de l'écliptique, une valeur 23°54′, trop forte de trois minutes seulement.

Au temps d'Alexandre le Grand, les Chaldéens faisaient remonter leurs observations jusqu'à vingt-deux siècles avant notre ère. Ils connaissaient le Saros, période de 223 lunaisons après laquelle les éclipses se reproduisaient à peu près dans le même ordre. Plusieurs de leurs observations d'éclipses ont été utilisées par Ptolémée : les dates en ont été données en heures ; la grandeur des éclipses en quarts de diamètre.

C'est la découverte des ruines de Babylone qui a donné des renseignements précis sur le développement de l'astronomie en Chaldée. Le Musée britannique contient des restes de la grande Encyclopédie astrologique qu'avait créée à Ninive le fameux Assurbanipal, un des derniers rois d'Assyrie : on y trouve des observations, des tables, des éphémérides. Schiaparelli, en résumant les découvertes de Rawlinson et Hincks, de Strassmaier, Epping et Kugler, lit que le déchiffrement en peu d'années de es

documents écrits en caractères inconnus dans une langue inconnue est un des plus grands triomphes de l'esprit humain au XIXe siècle. Il résulte des études de ces savants assyriologues que la science vraie n'a existé en Chaldée qu'à une époque récente, au temps des Perses, des Macédoniens et des Parthes, de 523 à 8 avant Jésus-Christ, tandis que l'École grecque a prospéré de Méton (450 av. J.-C.) jusqu'à Ptolémée, vers 150 de notre ère.

Il est du plus haut intérêt de lire, soit dans les articles de Schiaparelli, soit dans les ouvrages de Strassmaier et Kugler ce que l'on a appris sur l'histoire des pays situés entre le Tigre et l'Euphrate pendant plus de 3.000 ans avant notre ère. On y voit que dans les plans relevés des monuments sumériens qui remontent à ces dates très anciennes, les murs sont inclinés de 45° sur le méridien, tandis qu'il n'en est pas de même dans les villes fondées par les Accadiens, le pays de Sumer étant sur le cours inférieur de l'Euphrate et celui d'Accad, où sont les ruines de Babylone, étant plus au nord. La précision d'orientation est généralement moindre que celle de la grande pyramide d'Égypte qui remonte à l'an 2850.

Le calendrier était lunaire, de 12 lunes, et il se raccordait avec le soleil par la répétition, de temps à autre, et suivant les lieux, du mois de mars ou du mois de septembre. A mesure que la science se forma, on fixa le commencement de l'année par le lever héliaque d'une étoile. Un autre mode consista à avoir une année de 12 mois [illegible]nd, le premier jour de Nisannu (avril), les [illegible]ïades et la Lune étaient ensemble; une année [illegible]ine, si cela se produisait le 3e jour.

Les Babyloniens avaient une période de sept jours néfastes : les 7, 14, 21, 28 de chaque lune, le Roi ne devait autant dire rien faire, le prophète ne donnait pas d'oracle, le médecin ne touchait pas le malade, on n'exorcisait pas. 19 était une date redoutable, on l'écrivait 20 — 1. Il y avait cependant des esprits forts qui osaient écrire 19.

Le jour était divisé en 12 Kasbu et Kasbu désignait aussi le chemin parcouru par un piéton en un Kasbu (2 heures), le chemin décrit par le soleil en un Kasbu (30 degrés), le chemin parcouru en un Kasbu par la Lune dans le mouvement synodique (à peu près un degré si la lunaison est de trente jours). On trouve là l'origine du degré ; dans les tables babyloniennes du temps d'Alexandre le Grand, le temps que met le soleil à parcourir un degré (quatre minutes) est pris pour unité de temps. Cela reporte vers l'an 300 avant Jésus-Christ la division de la circonférence en 360 parties. Le degré de temps se trouve dans un document de l'époque de Cambyse : le degré d'arc est antérieur.

Les observations astronomiques régulières n'ont pu commencer qu'après l'introduction d'un mode exact de mesure du temps. On peut la reporter au début de l'ère de Nabonassar (747 av. J.-C.). Dès longtemps, les Chaldéens avaient donné des noms à certains groupes d'étoiles. Dans le planisphère de Ninive, aux mois correspondaient plus ou moins bien les constellations où était le soleil le mois précédent; le zodiaque vrai date de 538. Les Chaldéens observaient les équinoxes et les solstices, la pleine lune, les diverses apparences qu'offrent les

nètes, et réussissaient quelquefois à annoncer les éclipses de Lune. Schiaparelli (*loc. cit.*) admet que les noms des planètes ont des origines purement astrologiques et que l'ordre des noms de la semaine date d'une époque peu antérieure à l'ère chrétienne. L'astrologie ne fut elle-même qu'une branche de l'art divinatoire qui considérait quantité de faits de très inégale importance.

C'est sous les successeurs d'Alexandre qu'il y eut échange de savants et d'idées entre la Grèce et Babylone. C'est en 432 que les Athéniens Faino, Eutemone et Méton proposèrent le cycle de dix-neuf années contenant 239 lunaisons (dont l'écart n'est que de deux heures en dix-neuf ans).

La recherche des rapports simples ne se borna pas aux mouvements du Soleil et de la Lune. On eut aussi des cycles pour les planètes. En huit ans, Vénus fait 5 révolutions synodiques ; Jupiter 76 en quatre-vingt-trois ans ; Mercure 145 en quarante-six ans ; Saturne 57 en cinquante-neuf ans ; Mars 37 en soixante-dix-neuf ans. Les Chaldéens savaient en outre que ces révolutions synodiques sont variables dans les diverses parties de l'écliptique. La foi dans l'existence de rapports simples entre les éléments de l'Univers n'est pas particulière aux Chaldéens ; elle a existé dans tous les temps, et dure encore. Il en est qui ne sont pas l'effet du hasard, tels que la relation entre les moyens mouvements des trois premiers satellites de Jupiter ; d'autres ne sont qu'ap- p hées comme le fait que chacun de ces moyens n uvements est le double du précédent. Nombre d mmes encore, fort distingués, emploient

beaucoup de temps à combiner les valeurs d'éléments géométriques ou mécaniques et trouvent des relations simples, mais sommaires. La probabilité est faible qu'elles offrent un réel intérêt.

Les Chaldéens ont laissé des tables fondées d'ailleurs sur une conception arithmétique rudimentaire. Ils n'étaient pas géomètres, et leur astronomie planétaire était nécessairement empirique.

Les Égyptiens calculaient le temps, comme les Chaldéens, au moyen des révolutions du Soleil et de la Lune ; ils avaient la période de Sothis, de 1460 ans, après laquelle les levers héliaques de Sirius se produisaient aux mêmes jours de l'année. Leurs pyramides étaient orientées avec grand soin.

« C'est chez les Grecs, et chez eux seuls, dit « Delambre, qu'il faut chercher l'origine et les mo- « numents d'une science qu'ils ont créée, et que, « seuls, ils ont eu les moyens de créer. Je n'ap- « pelle pas science, ajoute-t-il, la collection de « quelques faits si frappants qu'ils n'ont pu « échapper à aucun observateur, ni quelques « conséquences faciles à déduire... Ce que j'ap- « pelle science astronomique, c'est une théorie « qui lie tous ces faits mieux observés, qui en « donne la mesure plus précise, qui fournit les « moyens de calculer tous les phénomènes, qui « sait en conclure les distances et les vitesses « des corps célestes, leurs marches, leurs ren- « contres, leurs éclipses et qui sait assigner les « temps et la manière différente dont ces phéno- « mènes s'offriront aux habitants des divers pa « Or voilà ce que les Grecs ont fait seuls, e « qu'ils ont enseigné aux autres peuples... » t

plus loin : « C'est dans les écrits des Grecs seule-« ment qu'on trouvera de vraies méthodes qui « passèrent aux Arabes, puis à l'Europe mo-« derne ».

Ce dernier jugement est un peu excessif; les Chaldéens avaient des tables du Soleil et une théorie de la Lune fondée sur l'emploi des deux anomalies vraie et moyenne. C'était bien le commencement d'une science astronomique.

Quelle a été la mentalité des premiers chercheurs, c'est que nous allons d'abord examiner.

« Lorsqu'une science a changé de nom, dit « Paul Tannery, les vicissitudes subies par sa « désignation doivent révéler les transformations « que le cours des âges a amenées dans la nature « des questions agitées, dans le caractère des « méthodes employées. C'est le cas de l'astro-« nomie. »

Le nom *astronomie* est le premier que la science des astres ait reçu chez les Grecs. Employé probablement pendant les deux siècles qui ont précédé Aristote, il fut abandonné par ce philosophe (384-322) qui affecte d'employer seulement le terme *d'astrologie*. Deux siècles après, Hipparque ne parle plus ni *d'astronomes*, ni *d'astrologues*, mais de *mathématiciens*, et, plus tard, Ptolémée, coordonnant dans son grand ouvrage les travaux de ses précurseurs l'intitulera : *Composition mathématique*. Après Ptolémée, on retrouve le terme d'astronomie, mais les savants ne se spécialisent pas et revendiquent le nom de *philosophes*.

Qu'était l'astronomie dans la première période? Quelle est l'étymologie du mot? Paul Tannery

considère que ἄστρον s'applique au Soleil, à la Lune, aux constellations, non à l'étoile (ἀστήρ), ni aux cinq planètes que l'on ne considérait pas encore et pense que le radical de la terminaison n'est pas νόμος mais νέμω qui, pris dans son sens propre, signifie *je partage*. Astronomie signifierait, à ce point de vue : *distinction des constellations*.

Cette division du ciel avait pour but d'aider à connaître le temps d'après le cours des astres, la division de la nuit en heures, celle de l'année en saisons. Le mois réglé sur le cours de la Lune se divisait naturellement en quatre parties d'après les phases.

L'heure n'était pas une durée constante, mais une certaine fraction soit du jour, soit de la nuit, variable avec la saison. La plus ancienne description grecque des constellations qui nous reste est un poème d'Aratus (vers 250 av. J.-C.), intitulé « *Les Phénomènes* » inspiré par un ouvrage écrit un siècle plus tôt par Eudoxe de Cnide. Aratus enseigna l'usage des constellations pour connaître l'heure pendant la nuit.

Au temps de Platon (427-347), ἀστρονομεῖν veut dire inspecter les astres. Dans le *Gorgias*, Socrate précise que l'astronomie traite des mouvements des astres, du Soleil et de la Lune, en ce qui concerne le rapport des vitesses. Dans *la République*, Glaucon l'envisage comme renseignant sur les saisons, les mois et les ans, et proclame son utilité non seulement pour l'agriculture et la navigation, mais même pour la guerre.

Ces définitions n'embrassaient, en réalité, qu des questions de calendrier. Les Grecs, de tou

temps, suivaient pour les mois le cours de la Lune ; ils commençaient l'année à la première nouvelle Lune après le solstice. L'année avait tantôt 12, tantôt 13 mois. Le 13e mois s'intercalait trois fois dans l'*octaétéride* les 3e, 6e et 8e années. Les quatre premières années de cette période de huit ans comprenaient donc 49 mois, les quatre autres 50. Au début de chaque demi-octaétéride revenait une grande fête nationale.

Pour remédier aux incorrections de ce système certainement antérieur à l'ère des Olympiades (776 av. J.-C.), il fallait connaître exactement la durée de la lunaison et celle de l'année solaire tropique. Pour assigner les moments des travaux de la vie pratique, les Grecs constituèrent, par l'observation des levers des étoiles, un calendrier sidéral suppléant à l'insuffisance du calendrier civil. Ils construisaient et affichaient des *parapegmes*, tableaux de concordance entre les deux calendriers, indiquant, dit Paul Tannery, à qui nous empruntons ces renseignements, les phases de la Lune, les apparitions et disparitions des fixes les plus remarquables, avec des pronostics relatifs au temps.

L'introduction de ces pronostics changea le sens du mot astronome. Théophraste (372-287), dans son petit traité des *signes de* pluie, de vent, de tempête et de beau temps donne le nom de trois bons *astronomes*, c'est-à-dire d'hommes qui prédisent le temps et qui pour cela observent plutôt l'horizon que les astres eux-mêmes. Le seul des trois qui paraisse avoir acquis quelque célébrité est

'ostrate de Ténédos (ve siècle av. J.-C.), qui ır ses pronostics employait la variation des ages sur le mont Ida ; il fut peut-être le pro-

pagateur de la croyance en l'influence des levers et couchers des astres sur le temps. On lui attribue l'octaétéride, la distinction des signes du Bélier et du Sagittaire. Il est vraisemblable qu'il avait écrit un ouvrage promptement disparu. Paul Tannery pense que cet ouvrage était probablement écrit en vers comme l'étaient ceux d'Hésiode et d'Aratus, comme le fut l'écrit postérieur de Leptine, intitulé *Didascalie céleste*, contenu dans le papyrus n° 1 du musée du Louvre (entre 193 et 164 av. J.-C.). Les vers iambiques se prêtaient aisément aux exigences d'une rédaction scientifique. On rencontre dans le traité de Leptine des propositions présentées avec un appareil géométrique : énoncé, démonstration, conclusion répétant l'énoncé, et la phrase sacramentelle : « Ce qu'il fallait démontrer. » On peut se demander si cette forme de démonstration ne représente pas une division en couplets libres avec retour des premiers vers à la fin de chacun, forme favorable à la mnémonique.

Platon employait systématiquement le mot *astronomie*. P. Tannery remarque qu'il affirme dans le *Gorgias* que l'astronomie est affaire de raison (λόγος) ; et ajoute qu'il n'est pas étonnant qu'Aristote (384 à 322), son disciple, emploie seulement le mot astrologie.

Les connaissances qu'Aristote désigne par ce mot sont celles qu'enseignait l'école d'Eudoxe de Cnide (409 à 356) qui, par un système de sphères homocentriques était arrivé à une représentation mathématique des mouvements du Soleil, de la Lune et des cinq planètes. Ce système amélioré par Callippe (330), successeur d'Eudoxe à Cyzique, représentait les observa

tions assez bien pour l'époque. Il ne tomba que par l'impossibilité de soutenir l'invariabilité des distances des planètes à la Terre. Eudoxe lui-même avait donné le moyen de déduire des éclipses un rapport des distances du Soleil et de la Lune à la Terre. Il avait trouvé que le Soleil était au moins neuf fois plus éloigné que la Lune (le rapport vrai est 400). Aristote (384-322) admettait que les fixes sont neuf fois plus éloignés que le Soleil (le rapport vrai est au moins 200.000).

La science des astres, l'astrologie, a pris un caractère mathématique; elle comprenait la théorie de la sphère, qui ne figure que très sommairement dans les éléments d'Euclide; Aristote appelle astrologie nautique l'ancienne astronomie et astrologie mathématique, ou simplement astrologie, la nouvelle science formée par le développement mathématique des principes fournis par la *Physique*, concernant l'essence du Soleil et de la Lune, et leur figure, ainsi que celles de la Terre et du monde stellaire. Les Chaldéens semblent n'avoir pu se placer à ce point de vue.

D'après Vitruve, les Grecs, au temps d'Aristote, ignoraient encore l'astrologie judiciaire. Elle fut introduite par le Chaldéen Bérose qui s'établit à Cos dans la première moitié du IIIe siècle avant Jésus-Christ.

Les premiers âges avaient connu, comme matériel instrumental, le gnomon, le cadran sphérique, la clepsydre, la sphère. La seconde période semble avoir vu apparaître la dioptre, simple règle munie de pinnules donnant une ligne de visée, et l'arachné. Plus tard la dioptre

fut montée par son milieu sur un pivot placé au centre d'un cercle divisé. Ptolémée donna le même nom à un instrument dû à Hipparque, comprenant une règle de 4 coudées portant à une extrémité une pinnule oculaire ; sur la règle même se déplace une pinnule pleine; l'instrument permet de mesurer de petits angles, notamment les diamètres du Soleil et de la Lune. L'arachné était un cadran solaire sphérique spécial dû à Eudoxe ou, peut-être, à Apollonius.

Ce cadran remplacé par un cadran plan sur lequel sont représentés les projections stéréographiques des cercles de hauteur de la sphère céleste sur l'équateur, est devenu l'astrolabe ; et cet instrument, transmis par les Grecs aux Arabes, et par ceux-ci aux peuples latins a servi pendant tout le moyen âge à la détermination de l'heure. C'est à Apollonius (vers 200 av. J.-C.) que P. Tannery attribue à la fois l'invention de l'astrolabe et la découverte des projections stéréographiques.

De 323 à 181 avant notre ère, le sceptre des études scientifiques passa d'Athènes à Alexandrie sous le gouvernement d'une suite de cinq rois protecteurs des lettres et des arts. Au début de cette période il existait sûrement un véritable observatoire à Alexandrie; les positions d'étoiles qui y furent déterminées par Aristylle et Timocharis permirent, plus tard, à Hipparque, né à Nicée vers 156 av. J.-C., de découvrir la précession des équinoxes. Eratosthène (276-196) déterminait avec une grande exactitude l'obliquité de l'écliptique et la longueur d'un arc de méridien. Mais c'est Hipparque, à Nicée, en Bithynie, n

loin de Cyzique, qui donna à l'école orientale sa plus grande gloire, après une période de profonde décadence écoulée depuis 181 jusqu'à 117. Après avoir établi un parapegme pour le climat de sa patrie, il vint se fixer à Rhodes, faisant de cette île le berceau de l'astronomie.

D'après Pline, « Hipparque, à qui la nature avait dévoilé ses mystères, était un génie extraordinaire qu'elle semblait avoir élevé au-dessus de la condition humaine : il exécuta ce qu'un Dieu même n'eût exécuté qu'avec peine ». Il rassembla les observations anciennes, les calcula par des méthodes géométriques qu'il créa.

Paul Tannery ramène aux quatre chefs suivants les idées essentielles qu'Hipparque a mises en œuvre le premier : 1° invention de la trigonométrie ; 2° création d'un matériel d'observations ; 3° emploi critique d'observations très anciennes ; 4° développement de l'hypothèse des épicycles et des excentriques.

Il est sûr qu'il a créé l'observatoire de Rhodes, y a fait de nombreuses et importantes observations, et que les instruments qu'il fit construire ne furent plus perfectionnés après lui. L'utilisation des anciennes observations d'éclipses faites par les Chaldéens est, sans contredit, un de ses principaux titres de gloire. C'était une vue géniale que d'apercevoir la possibilité de combiner utilement des observations anciennes, même très médiocres, avec les observations contemporaines pour obtenir certains éléments. Mais Paul Tannery attribue sans hésitation au grand géomètre Apollonius de Perge l'hypothèse très remarquable des épicycles et des excentriques pour représenter les mouvements des planètes.

Rappelant qu'Hipparque a laissé à d'autres le soin de démontrer que, mathématiquement, les deux hypothèses sont équivalentes, il regarde comme assuré qu'un géomètre capable d'inventer la trigonométrie n'eût pas agi de la sorte ; c'est à Archimède (287-212) et à Apollonius, que Paul Tannery en fait honneur.

A l'époque d'Hipparque la trigonométrie sphérique avait pour fondement la relation qui existe entre les cordes des doubles des six segments déterminés par les trois côtés d'un triangle sphérique coupé par un arc transversal. La proposition analogue pour les triangles rectilignes était sans doute connue d'Euclide; il était aisé d'en déduire celle qui concerne les triangles sphériques ; il fallait un remarquable esprit mathématique pour en faire l'application à la solution des différents problèmes qui peuvent se présenter.

Delambre pense qu'Hipparque observa d'abord des ascensions droites et des déclinaisons, en conclut les longitudes et latitudes, reconnut que ces dernières sont constantes et que les longitudes varient uniformément, ce qui le conduisit à l'emploi de l'astrolabe pour la mesure directe des longitudes. En transportant sur la Terre les cercles par lesquels on divisait le ciel, il a créé la géographie. Il est l'auteur du premier catalogue d'étoiles. Sa découverte de la précession des équinoxes justifie les lignes suivantes de Delambre qui en fait « un des hommes les plus étonnants de l'antiquité, et le plus grand de tous dans les sciences qui ne sont pas purement spéculatives et qui demandent qu'aux connaissances géométriques on réunisse des connaissances de fait

particuliers et de phénomènes dont l'observation exige beaucoup d'assiduité et des instruments perfectionnés. »

Pendant toute la période historique qui a précédé Hipparque, s'est constituée une cosmogonie résumée au début de la syntaxe de Ptolémée qui admet les principes suivants :

Le Ciel est sphérique et se meut comme une sphère autour d'un axe passant par son centre.

La Terre est sensiblement sphérique.

Elle est située vers le centre du ciel.

Sa grandeur n'est que comme un point par rapport à la sphère des fixes.

Elle n'est animée d'aucun mouvement de translation.

Le premier de ces principes remonte aux Chaldéens. Il fut admis sans autre contrôle que les apparences immédiates. Il y eut plus d'une fois des opinions divergentes. Pythagore (VIe siècle) ayant dit nettement que le monde est limité, la question de l'au delà se présenta et donna lieu à de graves discussions philosophiques. Cicéron dans le *De natura deorum* donna une âme au monde : « necesse est intelligentem esse mundum et quidem etiam sapientem. »

La question de la forme du monde a disparu après Copernic.

C'est Aristarque de Samos (vers 250 av. J.-C.) qui, parmi les anciens, avait le plus nettement aperçu la véritable constitution du système du monde. D'après l'exposé que donne Archimède de ses doctrines, Aristarque plaçait le Soleil au
tre de la sphère des fixes; la Terre décrivait
our de lui un cercle dont le diamètre était
me un point par rapport au diamètre de la

sphère céleste. Rien ne fait supposer qu'il ait regardé cette sphère céleste comme infinie et il en est de même, sans doute, de Ptolémée.

Un développement plus complet de l'astronomie supposait une connaissance exacte de la forme de la Terre et de ses dimensions. Le second postulat de Ptolémée était universellement admis. Aristote avait indiqué comme preuve de la sphéricité de la Terre la forme circulaire de son ombre dans les éclipses : Posidonius (135-50 av. J.-C.) avait mentionné que, la Terre étant immobile, sa forme doit dépendre de la direction de la pesanteur et que, si cette direction passe par le centre du monde, la figure ne peut être que sphérique.

Quant à ses dimensions, Paul Tannery, par une discussion minutieuse de la valeur du stade d'Eratosthène et en adoptant la valeur 252.000 stades adoptée par Hipparque, trouve 39.690 kilomètres, nombre dont l'exactitude paraîtrait surprenante si l'on n'avait toutes raisons de penser qu'Eratosthène avait apporté à cette mesure tout le soin nécessaire et effectué toutes les corrections qu'il y avait lieu.

Ni Hipparque, ni plus tard Ptolémée n'ont songé à perfectionner la mesure de l'obliquité de l'écliptique 23°51′20″ donnée par Eratosthène : cette mesure et celle de la circonférence de la Terre ont assuré à cet astronome un nom immortel.

C'est à Pythagore sans doute que remonte l'idée de considérer le mouvement des planètes comme résultant de la combinaison du mouvement diurne avec un mouvement propre à chacune d'elles. Adoptée par Platon et Aristote, plus

tard par Ptolémée, cette idée est sans doute la plus importante au point de vue de la conception et du développement d'une théorie mathématique. Ce n'est d'ailleurs que lentement que cette doctrine prit un caractère mécaniste. Les anciens philosophes admettaient que le mouvement des astres prouve que le monde est animé et que, s'il semble y avoir des lois mathématiques, c'est que l'ordre qui y est établi est le plus parfait possible. Ce fut un dogme des stoïciens qui, rejetant les explications géométriques, se bornaient à décrire les apparences.

L'année était définie par l'équinoxe dont Hipparque connaissait le mouvement ; mais l'observation de l'heure de l'équinoxe, même à l'armille équatoriale d'Alexandrie, comportait une erreur de 1/4 de jour. Il arriva que l'équinoxe fut observé deux fois le même jour. Par les seules observations d'Hipparque, Ptolémée trouva comme durée de l'année $365^{j}.5^{h}.48^{m}.49^{s}$, valeur presque exacte[1] : d'après une combinaison des observations d'Hipparque avec les siennes propres $365^{j}.5^{h}.55^{m}.12^{s}$, durée trop forte de $6^{m}1/4$, ce qui permet de suspecter les observations de Ptolémée qui, à elles seules, conduisaient à la durée adoptée par Hipparque.

« Ce sont, dit Paul Tannery, des idées reli-
« gieuses traditionnelles qui avaient déterminé
« les Egyptiens à adopter une année civile impli-
« citement sidérale ; les Grecs à suivre, au con-
« traire, une année civile implicitement tropique. »

Hipparque et Ptolémée se conformèrent à la

[1] L'année tropique vaut $365j.5^{h}.48^{m}.45^{s},98$ et diminue de $0^{s},53$ par siècle.

tradition grecque; grâce à eux, elle a triomphé en astronomie; mais si l'année civile s'est finalement réglée, en principe, depuis la réforme grégorienne, sur l'année tropique, c'est surtout pour des motifs d'ordre religieux, et parce que l'année chrétienne, dérivant de l'année juive, est en réalité lunisolaire et se règle sur les équinoxes, comme l'année grecque se réglait sur les solstices.

La discussion par laquelle Hipparque a trouvé la précession des équinoxes offre le plus grand intérêt pour l'histoire des méthodes en astronomie.

Ptolémée indique qu'Hipparque doutait de la fixité de l'année tropique. Ses ouvrages se rattachant à ce sujet sont, dans leur ordre de date: *De la longueur de l'année; de la rétrogradation des points solsticiaux et équinoxiaux*. Dans le premier, la longueur de l'année était déduite de la comparaison de l'observation du solstice d'été de l'an 135 avec celle, de l'an 280 faite par Aristarque de Samos. Il en avait déduit que l'année de 365 jours 1/4 devait être diminuée de $\frac{1}{300^{e}}$ de jour. La plus ancienne observation d'équinoxe était de l'an 162; en 135, Hipparque disposait donc de vingt-sept années d'observations récentes, plus précises que les anciennes; il estima néanmoins que leur inexactitude $\left(\frac{1}{4}\text{ de jour}\right)$ donnait pour la durée de l'année une précision moindre que la période de 145 ans.

Dans son traité relatif à la précession des équinoxes, il donne deux séries d'observations, l'une, pour l'équinoxe d'automne, de 162 à [illegible], l'autre, pour l'équinoxe du printemps, de 14[illegible]

128. Paul Tannery pense que celles de ces observations qui sont antérieures à 147 ne sont pas d'Hipparque, mais ont été jugées, par lui, seules dignes d'être combinées avec les siennes.

Il appuya sa démonstration de la précession de l'équinoxe sur une différence de 2 degrés entre les longitudes observées par Timocharis et par lui pour l'Epi de la Vierge. Il discuta soigneusement les variations accidentelles que pouvait offrir l'équinoxe et les déclara inférieures à 3/4 de degré. Rien ne permet d'affirmer qu'il ait douté réellement de la fixité de la longueur de l'année : il a examiné ce point dans la discussion de son problème, pour ne rien laisser à désirer ; on ne ferait pas autrement aujourd'hui.

C'était une thèse pythagorienne que l'on ne doit admettre que des mouvements circulaires et uniformes ; elle a conduit les mathématiciens Alexandrins, puis Hipparque et plus tard Ptolémée à admettre, pour représenter l'inégalité du mouvement du Soleil, les hypothèses équivalentes de l'excentrique et de l'épicycle dont voici les énoncés :

1° Le Soleil parcourt, pendant l'année tropique, un cercle excentrique à la Terre, de rayon R. La distance du centre de ce cercle à la terre est une fraction eR du rayon ; on ne peut déterminer R ; mais les phénomènes donnent e.

2° Le Soleil parcourt, pendant l'année tropique T, et en sens contraire de l'ordre des signes, un cercle (épicycle) de rayon eR. Le c[illegible]re de cet épicycle décrit, dans le sens des s[illegible]s et pendant le même temps T, un cercle c[illegible]ntrique à la terre et de rayon R.

[illegible] mouvement de la Lune offre des inégalités

plus grandes et plus complexes que celles du Soleil. Ptolémée connaissait le mouvement rétrograde de la ligne des nœuds de son orbite sur l'écliptique et la constance de l'inclinaison de cette orbite, l'inégalité analogue à celle du Soleil due à l'ellipticité ou, suivant l'hypothèse ancienne, à l'excentricité de l'orbite, le mouvement direct de la ligne des absides, l'évection qui dépend de la différence entre les longitudes du soleil et de la Lune, la correction, enfin, de parallaxe.

Ptolémée explique qu'en fondant la théorie sur les éclipses de lune on élimine la parallaxe; on élimine en même temps l'évection qui est toujours nulle lors des éclipses.

Hipparque avait déterminé avec grand soin, d'après des observations anciennes d'éclipses et d'après les siennes propres, les durées des diverses révolutions lunaires; en les exposant, il n'a rapporté qu'un petit nombre de comparaisons, et Ptolémée en a conçu quelque inquiétude : « Il est singulier, dit Paul Tannery, qu'après avoir fait preuve, en ce qui concerne la théorie du Soleil, d'une confiance presque illimitée dans les travaux de son précurseur, il ait cru devoir le corriger pour la théorie de la lune, et en particulier à propos de mouvements moyens déterminés avec une précision extrêmement remarquable à nos yeux. »

Pline affirme qu'Hipparque avait annoncé le cours de la Lune et celui du Soleil et prédit les éclipses pour une période de 600 ans. Cette prédiction était assurément la première de cette sorte; sans doute pour l'effectuer, Hipparque ava comparé la série complète des observations s'éte dant sur environ 600 années, dont il disposai

Paul Tannery montre que « le calcul des observations d'éclipses aurait dû suffire aux anciens pour leur faire reconnaître, au moins pour la Lune, la nécessité d'abandonner ou de modifier gravement l'hypothèse de l'épicycle » ; Hipparque paraît avoir soupçonné cette nécessité ; Ptolémée écarta les scrupules de son précurseur et ne recula même pas devant des combinaisons géométriques en contradiction flagrante avec l'observation des diamètres apparents.

L'hypothèse de l'épicycle (ou de l'excentrique) conduit sur la différence des diamètres extrêmes de la lune à une erreur de près d'un doigt (un douzième du diamètre), reconnue par Hipparque comme par Ptolémée ; ce dernier n'a rien fait pour corriger ce défaut capital de la doctrine.

Quoi qu'il en soit, les prédictions des éclipses chez les anciens, qui nous sembleraient insuffisamment précises, n'en avaient pas moins excité au plus haut degré l'admiration.

La théorie des planètes de Ptolémée est son œuvre propre. Elle n'a cependant pas été créée par lui de toutes pièces. En opposition au système des sphères concentriques d'Eudoxe, dont chacune portait une des planètes, des combinaisons d'épicycles ou d'excentriques avaient été essayées dès le temps de Platon et améliorées par Apollonius. Mais Hipparque ne put les amener à un degré de perfection aussi avancé que celles du Soleil et de la Lune.

Ces théories auraient dû aboutir au système adopté plus tard par Tycho-Brahé : la Terre fixe, Soleil et la Lune tournant autour d'elle, les nètes autour du Soleil.

La conception héliocentrique que Copernic a,

plus tard, empruntée à Aristarque de Samos, s'était heurtée à des préjugés religieux aussi puissants que ceux qui amenèrent la condamnation de Galilée. Elle était venue avant les hypothèses des épicycles et des excentriques et avait été impuissante à simplifier les anciennes théories dont, plus tard, le développement avait conduit plus d'un mathématicien à la doctrine future de Tycho-Brahé. Voici, d'après Paul Tannery, une citation de Théon de Smyrme, empruntée peut-être à Posidonius : « On peut soupçonner que c'est là l'ordre véritable, la disposition réelle. Ainsi le Monde, en tant que vivant, aurait dans le Soleil le siège de son âme, comme si cet astre enflammé était le cœur de l'Univers, cœur que distinguent son mouvement, sa grandeur et la compagnie d'astres satellites. Chez tous les êtres animés, en effet, le centre de l'être, en tant qu'animé, diffère du centre de grandeur.... Il en est de même pour le monde entier, si l'on peut, d'après des êtres infimes sujets à la fortune et à la mort, former des conjectures sur les êtres augustes et divers dont la grandeur nous écrase : s'il a pour centre de grandeur la Terre, froide et immobile, en tant que monde vivant son centre d'animation serait au Soleil, et ce serait là le véritable cœur de l'Univers, d'où son âme rayonne jusqu'aux extrémités. »

Si le système de Tycho-Brahé avait été définitivement constitué chez les anciens, nul doute que le système héliocentrique d'Aristarque de Samos n'eût été promptement adopté. Mais Hipparc manqua de patience et revint à la doctrine g centrique. Ptolémée le suivit aveuglément et s

calculs minutieux ne pouvaient suffire à le remettre dans la vraie doctrine qui n'a pu triompher que lorsque Galilée parut et la regarda comme un postulat *a priori*.

Si les astronomes Chaldéens peuvent être regardés comme ayant seulement cherché à connaître les mouvements apparents des astres, à donner des tables sommaires, à prévoir les éclipses de lune, les efforts des Grecs, depuis les précurseurs de Platon jusqu'à Ptolémée, ont été d'une nature plus complexe et plus haute. Ils se sont placés à deux points de vue distincts, dont on trouvera l'exposé critique dans l'ouvrage de M. P. Duhem, publié en 1908 : *Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée.*

Simplicius (au vi^e^ siècle de notre ère) énonce ainsi le point de vue de l'astronome : « Platon admet en principe que les corps célestes se meuvent d'un mouvement circulaire, uniforme et constamment régulier : il demande quels sont les mouvements de cette sorte qu'il convient de prendre pour hypothèses, afin d'expliquer les apparences qu'offrent les planètes. »

La méthode d'Aristote est différente. Il procède par affirmations concernant la nature des choses. Pour lui, l'Univers est sphérique ; les orbes célestes solides : chacun d'eux a un mouvement circulaire et uniforme autour du centre du Monde, et ce centre est occupé par la Terre immobile. Cette méthode est celle du physicien.

L'astronome peut hésiter. Pour lui, les hypothèses des excentriques et des épicycles sont équivalentes, et toutes deux, par hasard, s'accordent avec celle qui est conforme à la nature des choses. Aussi bien Héraclide de Pont (au

IVe siècle avant J.-C.) dit qu'on peut expliquer l'inégalité du mouvement du soleil en supposant le soleil fixe et la terre mobile autour de lui. Dans les deux cas, c'est le physicien qui doit choisir.

Les hypothèses, et ce mot voulait dire les idées regardées comme conformes à l'essence même des choses, ont varié depuis Aristote jusqu'au moyen âge, et, en fait, varient encore. A mesure que ces hypothèses se compliquent, la foi en elles est moins ferme ; Ptolémée n'attribuait certainement pas de réalité aux nombreux mouvements qu'il proposait pour constituer la trajectoire de chaque astre particulier. Trois siècles après, Proclus écrit que l'essence des mouvements célestes est l'irrégularité, que nous parlons selon la vraisemblance, que nos discours ressemblent à des fables et que nous ne pouvons connaître la nature des substances célestes.

*
* *

La longue période qui s'étendit de Ptolémée à la Renaissance, fut une ère de nuit profonde, quelques progrès cependant furent faits en astronomie, grâce aux Arabes qui en conservèrent les traditions. Un événement à jamais déplorable, l'incendie en 640 de la bibliothèque d'Alexandrie, détruisit bien des sources de renseignements concernant l'astronomie ancienne. Cependant Paul Tannery pensait que la lecture des manuscrits arabes, faite par un savant qui connaîtrait à fond, à la fois, la langue arabe, le mathématiques et l'astronomie anciennes, pourrait donner encore bien des résultats. En 827, l

calife Al. Mamoun fit traduire l'Almageste et mesurer un degré du méridien. Le plus célèbre des astronomes arabes de cette période fut Albategnius qui, au IXe siècle, corrigea les tables de Ptolémée, découvrit le mouvement du périgée du Soleil et introduisit dans la trigonométrie les sinus au lieu des cordes. Le vrai service que les Arabes ont rendu à l'astronomie est le développement et la forme nouvelle qu'ils ont donnés à la trigonométrie et leur soin continuel pour faciliter les calculs de l'astronomie sphérique. Des Arabes, l'astronomie passa en Espagne où Alphonse X, roi de Castille, réunit à Tolède une commission de savants musulmans, chrétiens et israélites pour construire de nouvelles tables des planètes qui furent publiées de 1248 à 1252, sous le nom de Tables alphonsines, toujours suivant le système de Ptolémée. Il regrettait de n'avoir pas été appelé au Conseil quand Dieu créa le monde ; il aurait donné de bons avis sur le plan qu'il aurait fallu suivre. Mais il n'a pas l'idée de suspecter la vérité du système et de le remplacer par un autre. En Europe, Purbach, au milieu du XVe siècle, publia des tables de sinus dont les arguments vont de 10′ en 10′. Son élève Regiomontanus, le plus savant astronome qu'ait encore eu l'Europe, reconnut l'utilité des tangentes. Viéte (1549 à 1603) a donné les formules pour la multiplication des arcs, a publié des tables de sinus, tangentes et sécantes ; il désignait le cosinus par les mots : *sinus residuæ*.

La mentalité des Arabes constitua un recul nsidérable. Averroès (XIIe siècle) écrit : l'épicycle l'excentrique sont impossibles ; l'astronomie de)tre temps n'existe pas : elle convient au calcul,

mais ne s'accorde pas avec ce qui est. Averroès ne put constituer le système conforme à la physique qu'il rêvait ; ce fut l'œuvre d'Al. Bitrogi (Alpetragius) qui constitua une théorie des planètes fondée sur les principes physiques, composant le monde, comme Aristote, au moyen de sphères homocentriques. Au même siècle (XIIe), Maïmonide, après avoir constaté la logique de ce qu'a dit Aristote sur les choses sublunaires, ajoute : « Quant à tout ce qui est dans le ciel, « l'homme n'en connaît rien, si ce n'est ce peu « de théories mathématiques... les cieux appar- « tiennent à l'Eternel, mais la Terre, il l'a donnée « aux fils d'Adam. »

*
* *

Mais il convient d'interrompre ici cet exposé des variations des astronomes, portés tantôt vers les principes physiques, tantôt vers les idées purement géométriques. Nous y reviendrons après avoir rappelé les admirables découvertes qui ont illustré à jamais les XVIe et XVIIe siècles. Pour ne pas gêner alors la suite et l'enchaînement de notre exposé, nous empièterons de trois siècles et consacrerons un alinéa à la réforme du calendrier réalisée par le pape Grégoire XIII, en 1582.

Les anciens astronomes s'étaient accommodés des calendriers égyptiens fixant l'année à 365 jours. En 40 avant J.-C., César imposa un calendrier nouveau, préparé par Sosigène, introduisant une année de 366 jours tous les quatre ans. C'était admettre que la durée de l'année était 365 jours 1/4. Cette durée est encore en usage

sous le nom d'année julienne, dans les théories de la mécanique céleste.

En 325 le Concile de Nicée avait adopté le calendrier Julien et réglé sur le mouvement de la Lune la fête de Pâques. Il avait supposé que l'équinoxe du printemps était le 21 mars. En 1582, lors de la réforme grégorienne, l'écart entre la durée vraie de l'année tropique et la durée admise de trois cent soixante-cinq jours et quart avait produit un déplacement apparent de l'équinoxe de 10 jours; et l'équinoxe avait lieu le 11 mars. La réforme fut complexe. « Il fallut, écrit Delambre, ramener l'équinoxe au 21 mars et l'y maintenir; de plus on ne voulait pas risquer de se rencontrer, pour célébrer la fête de Pâques, avec les juifs, ni avec des hérétiques qui la célébraient le 14; il fallut concilier l'année tropique, le mois lunaire et la semaine. » On introduisit la suppression de 3 années bissextiles en 400 ans; on définit un mouvement de la Lune qui n'est pas sans différer du mouvement exact; le lendemain du 4 octobre 1582 fut appelé le 15 octobre. La réforme grégorienne n'a pas corrigé toutes les erreurs; elle a rendu un grand service en rétablissant la paix entre les chrétiens qui souvent se battaient à propos de la fête de Pâques.

*
* *

C'est de l'Italie qu'après douze siècles de nuit profonde vint le réveil intellectuel de l'Europe. L'Université de Bologne eut des mathématiciens; de ses élèves, qui devait demeurer un des plus grands noms dans l'établissement de la cosmographie, fut Nicolas Copernic, fils d'un paysan de

Thorn, né en 1473, mort en 1543. Son ouvrage intitulé : *Nicolai Copernici Taurinensis, de Revolutionibus orbium cœlestium libri VI, Norimbergae, apud Jo. Petreinm*, 1543, in folio, parut peu de jours avant sa mort. Le premier chapitre de l'ouvrage se ressent des préjugés de l'École grecque : on y lit que le monde est sphérique parce que la sphère est, de toutes les figures, la plus parfaite : dans les chapitres suivants Copernic dit que la Terre est aussi sphérique ; que la Terre et l'eau forment un seul globe, la Terre occupant le fond des mers, et que sa sphéricité est prouvée par la forme circulaire de la ligne d'ombre dans les éclipses de Lune ; que le mouvement des corps célestes est égal, circulaire, perpétuel, ou composé de mouvements circulaires. Il dit encore qui si on laisse le ciel en repos et que l'on donne son mouvement à la Terre, mais d'occident en orient, on aura toutes les apparences du mouvement diurne.

Dans un chapitre intitulé : *De l'ordre des orbes célestes,* le plus important de l'ouvrage, le chanoine de Frauenbourg écrit : « Nous ne rougirons pas de déclarer que l'orbite de la Lune « et le centre de la Terre tournent en un an « autour du Soleil dans cette grande orbite dont « le Soleil est le centre. Le Soleil sera immobile « et toutes les apparences seront expliquées par « le mouvement de la Terre. » Il range les planètes dans leur ordre vrai à partir du Soleil.

Copernic redoutait assurément les persécutions dont Galilée, plus tard, fut l'objet. Par précaution il avait dédié son livre au pape Paul III et avait mis en tête un avis au lecteur concernant

les *hypothèses* qu'il hasardait, qui n'ont besoin d'être ni vraies ni vraisemblables, étant suffisant qu'elles se prêtent au calcul. L'Église catholique n'en protesta pas moins contre la fameuse formule de Copernic : *la Terre n'est pas au centre du monde*. « Les savants, écrit M. Lebon, accueillirent les idées de Copernic avec enthousiasme ; mais la foule des ignorants les traita d'absurdes rêveries ; elles furent même exposées par des comédiens à la risée publique. »

Le vrai système du monde a conservé le nom de Copernic qui, cependant, dit Delambre, « n'eut pas la gloire d'être le législateur de l'astronomie ». C'est à une génération suivante que cette gloire fut réservée. Les matériaux d'observation dont Copernic disposait n'étaient pas assez précis ; il avait en vérité tiré tout de son propre fond et l'on ne saurait trop admirer son génie. Cependant les réserves qu'il a cru nécessaire de faire lui-même ont contribué à empêcher la diffusion et surtout l'adoption de sa doctrine : Tycho-Brahé le premier en date de ses successeurs, Tycho-Brahé dont les observations ont été le fondement de toutes les découvertes ultérieures rejeta encore le système de Copernic. Le flambeau de la vérité a besoin d'être tenu haut et ferme pour éclairer le monde.

C'est après la mort de Copernic, dans la seconde moitié du XVIe siècle et au commencement du XVIIe, que se produisirent les travaux fondamentaux et les découvertes essentielles.

Tycho-Brahé, né en Danemark en 1546, eut le ...nie de la précision des observations. Dans ...bservatoire qu'il construisit à Uranibourg, ...âce à la générosité de Frédéric II roi de Dane-

mark et de Norwège, il établit un nombre considérable d'instruments : demi-cercles, quarts et douzièmes de cercles, armilles zodiacales, armilles équatoriales, sextants, règles, en particulier règles parallactiques de Copernic, en bois, de 8 coudées, globes célestes et globes terrestres ; un instrument essentiel était un quart de cercle méridien pour la mesure des déclinaisons. Il avait aussi des horloges à poids qui ne donnaient que des résultats fort médiocres. Il songea à mesurer les ascensions droites au moyen d'horloges obtenues en laissant écouler d'un vase dans un autre un mince filet de mercure et pesant le mercure recueilli. Il employa au même usage le plomb réduit en poudre très fine; mais, dit-il, « pour « confesser la vérité, le rusé Mercure qui est en « possession de se moquer également des astro- « nomes et des chimistes s'est ri de mes efforts, « et Saturne, non moins trompeur, quoique, « d'ailleurs, ami du travail, n'a pas mieux se- « condé que lui celui que je m'étais imposé. » Il dut donc renoncer à ces procédés grossiers et déduire les ascensions droites des astres des arcs de grands cercles qui les joignent. Pour rapporter le soleil aux étoiles et avoir l'équinoxe, il comparait, avec toutes les précautions imaginables le Soleil à Vénus et Vénus aux étoiles. En 1582, il fit cent observations de cette sorte; il les poursuivit pendant sept années. Il ne manquait pas d'observer Vénus à l'est du Soleil, et aussi à l'ouest, pour éliminer les réfractions et les parallaxes.

Le catalogue de 1005 étoiles qu'il construi n'a guère d'erreurs dépassant une minute. tenait compte de la réfraction qu'il trouva ég

à un demi-degré à l'horizon. Les tables qu'il en donne ont des erreurs de 2′. De dix déterminations d'équinoxes il déduisit la longueur de l'année.

Il aperçut le 11 novembre 1572, près du zénith, une étoile très brillante qui disparut en mars 1574. Plus brillante que Sirius et Jupiter, elle était presque aussi belle que Vénus à son maximum. Elle n'avait ni queue ni chevelure et demeura immobile. Elle fut aperçue à midi. Blanche au début, elle jaunit et finalement devint d'un blanc livide comme Saturne ; il prouva qu'elle était située plus loin que les planètes. Pline avait rapporté l'observation d'une étoile analogue aperçue par Hipparque, qui ne se trouve pas dans le catalogue de Ptolémée. On sait que, depuis, d'autres apparitions de même nature se sont maintes fois produites. Tycho supposait que les variations de la Nova de 1572 étaient dues à la substance éthérée de la voie lactée.

Tycho mesura la parallaxe du soleil et trouva la même valeur, trois minutes, que Ptolémée et Copernic. Ses observations auraient dû le conduire à la déclarer presque nulle, suivant le soupçon d'Hipparque qui dit qu'elle peut être égale à trois minutes ou nulle. En cette circonstance, Tycho fut dominé par la force des préjugés.

C'est peut-être sous la même influence que, comme nous l'avons mentionné déjà, il n'adopta pas les idées de Copernic et plaça la Terre au centre du monde. Il faisait tourner le Soleil et Lune autour de la Terre, et les planètes autour Soleil, et admettait que la sphère des étoiles veloppe de près l'orbite de Saturne.

En établissant sa cosmogonie, moins hardi que Copernic, il chercha un système satisfaisant à la fois aux principes mathématiques et physiques, sans encourir les censures théologiques. Il reprochait à la doctrine de Copernic de donner à une masse grossière, paresseuse et inhabile au mouvement, comme la Terre, un triple mouvement, d'être ainsi contraire, non seulement aux principes de la Physique, mais à l'autorité des Écritures.

Tycho étudia toutes les questions d'astronomie soulevées à son époque. Il pratiqua longtemps l'astrologie à laquelle il paraît avoir cru sincèrement. Plus d'une fois, pour établir sa conception du système du monde il fait des affirmations plus que hasardées. C'est ainsi que, reconnaissant que si l'on trouvait des parallaxes aux étoiles, cela démontrerait le mouvement de la Terre, et n'en trouvant pas, il dit : que Copernic n'a pu se tirer d'embarras qu'en mettant entre Saturne et les fixes un intervalle en comparaison duquel le diamètre de l'orbite terrestre devient insensible : *chose incroyable et dont il démontrera les conséquences absurdes*.

Dans un opuscule sur les comètes, il énonce l'opinion que leurs mouvements ne sont astreints à aucune loi. Dans ses Progymnasta, en 1603, il rectifie cette opinion et cherche à déterminer l'orbite de la comète de 1577. Mais il soutient que les comètes doivent avoir quelque vertu et quelque influence, la nature ne faisant rien en vain : il admet que les corps célestes ont été créés uniquement pour l'homme. C'est sa doute dans cette mentalité et dans son respe pour les décisions des théologiens, qu'il fa

chercher son acharnement à laisser la Terre immobile. Il était cependant grand admirateur de Copernic et, à propos de ses observations de planètes, dont il espère donner des Tables, il écrit : « Le grand et incomparable Copernic n'eut « rien laissé à désirer à cet égard s'il eut été pourvu « de meilleurs instruments, car il avait plus que « personne toute la science mathématique et « toute la sagacité requises. Il était même, en « cela, supérieur à Ptolémée, surtout pour les « hypothèses et les explications. »

Tycho-Brahé passa vingt-deux ans à Uranibourg, de 1576 à 1597. Après la mort de son protecteur Frédéric II, survenue en 1588, il fut l'objet de persécutions à la suite desquelles il quitta sa résidence le 29 avril 1597 et se réfugia d'abord près de Hambourg, à Wandesburg, où il commença à observer le 17 octobre 1597. En 1599, il était à Prague, où il mourut le 24 octobre 1601. Il avait été, à Uranibourg, en correspondance régulière avec bon nombre d'astronomes. Parmi eux le plus illustre fut le landgrave de Hesse-Cassel, Guillaume IV (1532-1591) dont le mathématicien, Rothman, défendait le système de Copernic et répondait à toutes les objections tirées de l'Écriture sainte, ajoutant cependant qu'il *n'était pas d'avis de l'enseigner dans les éléments, puisque les maîtres eux-mêmes ont de la peine à le comprendre.* Vers 1589 Rothman visita Tycho à Uranibourg. A Prague, ce dernier reçut, au commencement de 1600, la visite de Képler qui se fi près de lui en octobre. A ce commerce est s ment due la suite de la direction des travaux d Képler; ainsi les persécutions dont Tycho fut l et nous ont valu la théorie de Mars et les

plus importants progrès qui aient jamais été faits en astronomie.

Copernic avait vécu de 1473 à 1543. Tycho-Brahé né en 1546, trois ans après la mort de Copernic, mourut en 1601. Képler avait alors 30 ans, Galilée 37 et Néper 50; aucun des trois n'avait fait encore ses travaux essentiels, de sorte que le développement de l'astronomie vers cette époque offre trois périodes nettement successives: dans la première, Copernic affirme le vrai système du monde; dans la deuxième, Tycho réunit un magnifique ensemble d'observations sensiblement précises à la minute d'arc; dans la troisième, vers le commencement du XVIIe siècle, Képler découvre les lois des mouvements des planètes; Galilée énonce celles des oscillations du pendule, la loi d'inertie et pose les fondements de la mécanique; Néper invente les logarithmes et en publie la première table; dans le domaine des observations, Galilée ayant construit une lunette, la tourne vers le ciel, et accumule les plus nombreuses et importantes découvertes: les taches et la rotation du Soleil, les montagnes et la libration de la Lune, l'anneau de Saturne, les phases de Vénus, les satellites de Jupiter, l'éclairement des planètes par le Soleil, la lumière cendrée de la Lune, et la lumière propre des étoiles; au point de vue de la philosophie naturelle il affirme la vérité du système de Copernic et encourt les persécutions de l'Église. A des titres divers, Képler, Néper et Galilée ont révolutionné l'astronomie.

C'est en 1614 que parut la table de Nép sous le titre : « Mirificî Logarithmorum ca nis descriptio, ejusque usûs in utrâque tri

nometriâ, ut etiam in omni logisticâ mathematicâ amplissimi, facillimi et expeditissimi, explicatio, authore ac inventore Joanne Nepero, barone Merchistonii, Scoto. » Ces logarithmes, que Néper avait appelés d'abord nombres artificiels, ne sont pas identiques aux logarithmes appelés aujourd'hui hyperboliques ou népériens; la somme des deux, pour un même nombre, est le logarithme hyperbolique de mille. La table donne pour les arcs de minute en minute, de 0° à 90°, les logarithmes des sinus, des tangentes, et aussi les sinus naturels. Néper appelait antilogarithmes les logarithmes des cosinus. Les sinus naturels et les logarithmes correspondants se trouvant sur une même ligne, on a une table (plus ou moins commode) des logarithmes des nombres. Delambre dit que c'est dans cette table qu'il a trouvé le premier exemple de la notation des fractions décimales.

Néper redoutait l'envie. Il avait senti la grande utilité qu'aurait son invention et se demandait comment elle serait accueillie. Briggs, professeur à Oxford, qui l'étudia et la perfectionna, dit n'avoir jamais rien vu qui lui ait causé plus de plaisir et d'admiration. Il vint à Edimbourg proposer à Néper son propre système de logarithmes, celui qui est en usage aujourd'hui. Képler aussi en sentit l'importance et publia en 1664 un ouvrage contenant une table des logarithmes des nombres entiers; mais il dit qu'étant allé en 1621 dans la Germanie supérieure il reconnut que nombre de mathématiciens, sortis de la jeunesse, hésitaient à profiter de la nouvelle découverte, se plaignant de ce

que Néper avait introduit à la base de sa doctrine des considérations de mouvement. En pratique la diffusion de l'emploi des logarithmes fut lente, et Delambre, dans son *Histoire de l'Astronomie Moderne*, en 1821, écrit : « Cette invention « admirable n'est point encore assez répandue, et « la cause en est, sans doute, la division bizarre « et arbitraire des systèmes métriques des « différents peuples : mais on paraît s'ache- « miner vers l'uniformité et vers le système « décimal ; alors l'usage des logarithmes ne « se borne raplus aux astronomes et aux géo- « mètres. »

Au point de vue philosophique, l'invention des logarithmes a été un pas vers la théorie de la correspondance. Le nom même λόγος (raison ou rapport), αριθμος (nombre) l'indique.

Les travaux de Képler sont antérieurs à l'invention des logarithmes ; son premier écrit : « Prodromus dissertationum continens myste- « rium cosmograficum, de admirabili proportione « orbium cœlestium... demonstratio per quinque « regularia corpora geometica » (Tubingue 1596) est antérieur à la mort de Tycho-Brahé qui, en ayant reçu un exemplaire de l'auteur, lui conseilla de laisser de côté ces spéculations oiseuses et d'examiner ses observations. Tycho l'invitait à venir le voir. Ce ne fut qu'à Prague que Képler réalisa ce vœu de Tycho, au début de l'année 1600 ; il s'y fixa définitivement en octobre de la même année.

Le Prodrome est, comme le constatait Tycho, rempli de spéculations sans valeur. L'auteur propose, comme le titre l'indique, de prou

que Dieu a arrangé l'ordre de l'univers en songeant aux cinq corps réguliers inscriptibles dans la sphère. Il regarde ces figures comme des quantités plus anciennes que les cieux. Aux orbes de Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, il circonscrit successivement l'octaèdre, l'icosaèdre, le dodécaèdre, le tétraèdre, l'hexaèdre réguliers, et chacun de ces solides est enfermé dans l'orbe de la planète suivante, le dernier dans l'orbe de Saturne. Il est ravi de cette découverte par laquelle « sans rien faire qu'un peu de vio-« lence aux corps connus, il les enchaîne les « uns aux autres. » Et il ajoute : « Est-il rien « de plus admirable que de penser que tout ce « que Copernic a trouvé par les phénomènes, et « comme un aveugle qui se sert de son bâton « pour reconnaître son chemin, ainsi qu'il le « disait lui-même à son disciple Rhéticus, se « trouve ensuite démontré *a priori* et par des « raisons tirées de l'idée même de la création. » Delambre qui rapporte tout au long les calculs de Képler ajoute que l'on peut être surpris et affligé que ce soit par des raisonnements de cette espèce que Képler a été conduit à ses lois admirables. On doit constater cependant qu'au chapitre IX, le plus étrange de l'ouvrage, Képler disait : « Ce chapitre n'est rien que jeu pure-« ment astrologique et ne doit pas être censé « faire partie de l'ouvrage. » Au chapitre XX, consacré à la proportion des mouvements aux orbes, il conclut : « Proportio periodorum non est « dupla proportionis distantiarum mediarum, ed perfectissimi et absolutissimi ejus sesquialtera. »

Cependant il n'avait pas encore une démons-

tration complète de cette loi. C'est le 17 mai 1618 qu'il a terminé son ouvrage intitulé : « Harmo- « nices mundi de figurarum regularium, quæ « proportiones harmonicas pariunt, ortu, classi- « bus, ordine et differentiis causâ scientiæ et « demonstrationis. » (Lincii Austriæ, 1619). Au chapitre III, il écrit : « Achevons la découverte commencée il y a vingt-deux ans.

« Sera quidem respexit inertem,
« Respexit tamen, et longo post tempore venit.

« Si vous en voulez connaître l'instant, c'est « le 18 mars 1618. Conçue, mais mal calculée, « rejetée comme fausse, revenue le 15 mai avec « une nouvelle vivacité, elle a dissipé les téné- « bres de mon esprit. Elle est si pleinement « confirmée par les observations de Tycho que « je croyais rêver et faire quelque pétition de « principe. Mais c'est une chose très certaine « et très exacte, que la proportion entre les temps « périodiques de deux planètes est précisément « sesquialtère de la proportion des moyennes « distances. »

Tout l'ouvrage est rempli de recherches d'harmonies illusoires, ce qui fait écrire à Bailly : « Après cet élan sublime, il redevient homme « après s'être montré esprit de lumière. » Et Delambre qui a essayé d'avoir la patience de lire tous ses écrits, après avoir avoué qu'elle lui a manqué souvent, et après avoir rapporté le jugement de Bailly, donne ainsi l'impression c cette lecture lui a laissée : « A considérer « choses sous un autre point de vue il ne se « pas impossible de trouver que Képler a

« toujours le même. Ardent, inquiet, brûlant de « se signaler par des découvertes, il les essayait « toutes, et quand il les avait entrevues rien ne « lui coûtait pour les suivre ou les vérifier. « Celles de ses tentatives qui n'ont pas réussi « ne nous paraissent que bizarres, celles qui ont « été plus heureuses nous paraissent sublimes. « ..... Dans toutes il développait les mêmes « qualités, et cette constance opiniâtre qui triom- « phe des difficultés quand elles ne sont pas « insurmontables. »

Képler parmi ses nombreux écrits a publié une table des logarithmes des 1000 premiers nombres. Ce que nous avons dit jusqu'ici suffirait pour donner idée de sa mentalité. Mais il est impossible de ne pas citer son principal ouvrage. :

« Astronomia nova ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ, seu Physica cœlestis tradita commentariis de motibus stellæ Martis ex observationibus G.-V. Thychonis-Brahe jussu et sumptibus Rudolphi II, Romanorum imperatoris... plurium annorum pertinaci studio elaborata Pragæ à S^ae C^ae majestatis mathematico Joanne Keplero, anno æræ Dyonisianæ 1609. »

Képler y expose, sur la pesanteur, des principes bien voisins de l'attraction universelle et qui ont pu mettre Newton sur la voie de son immortelle découverte : Tout corps est propre à rester en repos s'il est hors de la sphère de vertu d'un autre corps : la gravité est réciproque entre deux corps de même espèce : si la terre n'était pas ronde les graves se dirigeraient non vers le centre, mais vers des points divers, la force tractoire de la Lune s'étend jusqu'à la Terre et produit les marées; celle de la Terre beaucoup plus loin

que la Lune..... « Ces vérités bien comprises « et soigneusement examinées on verra s'évanouir « cette absurdité et cette impossibilité imaginaire « qu'on objectait au mouvement de la Terre. » Delambre après avoir reproduit tout au long les principes de Képler ajoute : « Voilà qui était « neuf, vraiment beau, et qui n'avait besoin que « de quelques explications. Voilà les fonde- « ments de la physique moderne, céleste et ter- « restre. »

C'est sur des écarts de 8′ que Képler s'est acharné. Ptolémée ne pouvait répondre des observations à 10′ près. « Mais, dit Képler, la bonté « divine nous a donné en Tycho un observateur « si exact que cette erreur de 8′ est impossible ; « il faut remercier Dieu et tirer parti de cet « avantage ; il faut découvrir le vice de nos sup- « positions. Ces 8′, qu'il n'est pas permis de « négliger, vont nous donner les moyens de ré- « former toute l'astronomie. » Il avait admis que l'orbite de la planète est un cercle parfait ; il conclut de longs et minutieux calculs que c'est un ovale qu'il croit plus large à un bout qu'à l'autre. Cherchant à diviser la surface en parties proportionnelles aux temps, il dit que la difficulté serait moins grande si la figure était une ellipse parfaite, Archimède en ayant donné l'aire totale. Il cherche de bien des manières à la diviser en parties égales ; après mille essais, il trouve que la vérité est entre son ovale et le cercle : « Et ecce omnis theoria in fumos abiit. » « Nos fai- « seurs de systèmes, dit Delambre, n'ont pas « imaginé plus de folies que Képler ; mais ils « calculent rien, et Képler soumettait tout « calcul ; il n'abandonnait pas une idée ava

« d'en avoir bien démontré l'exactitude ou la « fausseté. » Il rejetait formellement l'ellipse ; il regrettait de n'avoir pour sa courbe aucune voie géométrique ; il disait que le problème serait bien plus facile avec l'ellipse ; il en obtint la la solution dès qu'il l'essaya ; cela lui donna la loi des aires, l'équation entre l'anomalie excentrique et l'anomalie moyenne, et l'expression du rayon vecteur en fonction de l'anomalie excentrique. C'est bien justement que le problème qu'il a résolu a gardé son nom.

Képler, dans ses *Harmonices mundi*, défie les astronomes d'en supprimer ou d'en modifier une seule. Il semble, que de son vivant, personne, pas même, peut-être, Galilée, n'ait fait la moindre attention aux lois qui ont immortalisé son nom.

Ses recherches sont toujours fondées sur l'emploi de la méthode inductive qui n'a jamais été appliquée avec tant de succès avant lui. Plus d'une fois, il s'excusa de n'être pas un géomètre de premier ordre : il n'en a pas moins résolu les problèmes qu'il a rencontrés. On peut citer, en particulier la méthode qui lui donna avec précision les rapports de quatre distances du Soleil à la Terre, bases de la recherche de ses lois.

Nous avons énuméré plus haut les découvertes les plus glorieuses de Galilée. Ses idées sur le système du monde sont exposées dans quatre dialogues publiés en italien, à Florence, en 1632, dont une traduction fut imprimée à Strasbourg en 1635 sous le titre : *Systema cosmicum authore Galileo Galilœi Lynceo..... in quo, quatuor diaris, de duobus maximis mundi systematibus, olemaico et Copernicano, utriusque rationis philosophicis ac naturalibus indefinite pro-*

positis disseritur. Les lois de Képler n'y sont pas mentionnées. Le premier de ces ouvrages n'a pas d'importance ; le second traite de la rotation de la Terre, le troisième de sa translation, le quatrième du flux et du reflux de la mer. C'est dans ce quatrième que Galilée écrit pour la première fois le nom de Képler et c'est pour lui reprocher d'avoir cru à l'attraction de la Lune. Delambre appréciant l'ensemble de l'œuvre de Galilée, écrit : « son plus beau titre de gloire, ce sont ses expériences du pendule et de la chute des corps ; sa lunette, cependant, et son procès, sa condamnation, l'obligation qu'on lui a imposée, le 22 juin 1633, de se rétracter et d'abjurer, sont les causes qui ont le plus répandu sa réputation. » Ce sont bien aussi de grands titres de gloire si, comme l'écrit Paul Tannery, « c'est moins la vérité qu'il est difficile de découvrir que l'erreur qu'il est long de déraciner ».

Képler mourut en 1630, Galilée en 1642 ; Newton vécut du 25 décembre 1642 à 1727. Le livre des Principes est de 1686. Un demi-siècle s'est donc écoulé entre la découverte des lois de Képler et celle de l'attraction universelle.

Ce demi-siècle vit de grands progrès en astronomie et en philosophie naturelle. Huyghens (1629-1695) trouva la nature de l'anneau de Saturne, et après sa disparition prédit sa réapparition ; il découvrit le satellite Titan de cette planète, vit les taches de Mars ; en optique, il adopta la théorie des ondulations et expliqua la double réfraction du spath d'Islande ; en mécanique, en 1657, il appliqua le pendule aux horloges ; d raccourcissement du pendule à secondes de Par. à Cayenne, constaté par Riche, il conclut le ren

flement équatorial de la Terre; il imagina le spiral des montres; en 1673 parut son admirable ouvrage : *Horologium oscillatorium* où il donne la théorie du pendule cycloïdal; au point de vue cosmogonique, il dit que Saturne doit tourner plus vite que la Terre, ce qui est vrai; il considérait le Soleil comme étant une étoile fixe et pensait qu'inversement toute étoile fixe est semblable au Soleil.

Descartes (1596-1650) fut surtout illustre comme philosophe. En optique, il découvrit la loi de la réfraction et chercha à annihiler dans les lunettes l'aberration de sphéricité; il donna une théorie de l'arc-en-ciel : sa cosmogonie fut longtemps en honneur, mais pas sans conteste. Il admettait que « le vide est impossible; le monde n'a pas de bornes; la Terre et les cieux sont faits d'une même matière. » — « Le Soleil est le centre d'un tourbillon qui compose un ciel ; ce grand tourbillon en contient de plus petits qui sont ceux des diverses planètes ; celui de Jupiter entraîne ses quatre lunes. » Il fait une autre hypothèse dont il reconnaît la fausseté, cherchant seulement l'accord entre ses effets et le résultat de ses observations.

« Supposons que Dieu a divisé au commencement toute la matière en des parties aussi égales entre elles qu'elles ont pu être, et dont la grandeur égale était médiocre, enfin qu'il a fait qu'elles ont toutes commencé à se mouvoir d'égale force en deux diverses façons, chacune à part, autour de son propre centre, et en même temps plusieurs ensemble autour de quelques centres disposés en même façon, dans l'univers que nous voyons, que le sont à présent le centre des étoiles

fixes; elles ont composé autant de différents tourbillons qu'il y a maintenant d'astres dans le monde. » Par le mouvement circulaire, les parties, originairement anguleuses, se sont arrondies. Les parties ainsi détachées ont rempli les vides entre les corps ronds. Ces parties étaient extrêmement menues et d'une vitesse extrême. La *raclure* des angles se multiplia en tel point qu'elle ne pouvait tenir entre les corps ronds, elle fut obligée de refluer vers le centre ; elle y a composé des corps très subtils et très liquides, tels que le Soleil et les étoiles. Il y a trois formes dans la matière : la première est celle de cette raclure, qui a dû être séparée des autres parties lorsqu'elles se sont arrondies ; la seconde est celle de tout le reste de la matière dont les parties sont rondes et fort petites à comparaison des corps que nous voyons sur la Terre ; la troisième se trouve dans les parties qui, à cause de leur grosseur et de leurs figures, ne pourront pas être mues aussi aisément que les précédentes.

Le Soleil et les étoiles fixes ont la forme du premier de ces éléments ; les cieux celle du second ; la Terre avec les planètes et les comètes celle du troisième. Etre lumineux, être transparent et être opaque ou obscur, ce sont les trois différences principales qu'on puisse rapporter au sens de la vue pour distinguer les trois éléments de ce monde visible. — Le premier ciel est le tourbillon dont le Soleil est le centre; le second est composé d'un fort grand nombre d'autres tourbillons dont les centres sont occupés par le étoiles fixes ; toute la matière qui est au delà d ces deux cieux forme le troisième, immense pa rapport au second, comme le second est extrê

ment grand au regard du premier. Descartes ne parle pas du troisième ciel parce que nous ne remarquons en lui aucune chose qui puisse être vue par nous en cette vie.

Suit l'explication de la lumière dont la transmission est instantanée. Dans une lettre du 22 août 1634, à un anonyme, Descartes remarque que s'il en était autrement nous ne verrions jamais un astre dans le lieu qu'il occupe, mais dans le lieu qu'il occupait à l'instant où s'est faite l'émission de la lumière et nous ne verrions jamais une éclipse à l'instant où elle arrive réellement. Cette phrase contenait en germe la découverte de Roemer, le contraire de la conclusion qu'en tirait Descartes, et celle de l'aberration.

Il serait difficile de penser que Descartes ait appliqué, en constituant la doctrine des tourbillons, la première des règles qu'il pose dans la logique : n'admettre comme véritables que les choses dont la certitude serait évidente. Nous avons dit qu'il la donne comme un système hypothétique. Seulement on pourrait produire de même les opinions les plus hasardées ; chacun pourtant les énonce sans y croire ; cela n'aurait pas d'inconvénients pratiques si chacun avait, avec assez de libéralisme, une profonde indifférence ; mais que deviendrait alors ce qui fait la dignité de l'homme, la passion de la vérité ?

En 1603, Bayer fait paraître son *Uranométrie*, en 50 planches, où les étoiles de chaque constelon sont désignées par les lettres α, β, γ, de phabet grec, suivies de celles de l'alphabet itaie ; en 1614 Snellius publiait la première sure vraiment scientifique d'un arc de méri-

dien, faisant une triangulation, et comparant les unes aux autres les unités qu'il emploie. En 1731, Vernier décrit l'instrument qui a gardé son nom. Gascoigne invente le micromètre que perfectionne bientôt Auzout, et en 1641-42 mesure le diamètre de la Lune et les positions relatives de sept Pléïades.

L'année 1666 marque le début d'une période de production intensive en astronomie et en mathématiques. En France, elle vit créer l'Académie des Sciences et commencer la construction de l'Observatoire de Paris ; Picard et Auzout appliquent la lunette astronomique au Cercle mural et, en 1667 y adaptent le micromètre à fils ; en 1669, Picard reprend la mesure de l'arc de méridien par triangulation et en 1670 trouve 57.060 toises pour l'arc de un degré ; en 1676, Rœmer construit la première lunette méridienne ; à Paris, il trouve que la lumière met 8 m. 13 s. à venir du Soleil à la Terre ; pendant sa longue carrière, J. Dominique Cassini, le premier directeur de l'Observatoire de Paris, découvre la lumière zodiacale, la division de l'anneau de Saturne et quatre satellites de cette planète, donne la durée des rotations de Mars et Jupiter reconnaît la régularité des orbites des comètes de 1664 et 1680, construit des Tables du Soleil et des satellites de Jupiter.

Ces travaux marquaient dans l'astronomie d'observation une ère nouvelle, Tycho Brahé avait porté la précision à la minute d'arc ; après Huyghens et Picard, les astronomes ont eu des lunettes, des micromètres et des pendules et la précision des observations pouvait prétendre à la seconde. Mais ces progrès, s

importants qu'ils aient été sont à moitié effacés en face de la géniale découverte de Newton.

Né en 1643, admis comme étudiant à Cambridge après avoir appris seul la géométrie, l'optique, l'arithmétique des infinis, Newton y remplaça Barrow, son maître, en 1669, et occupa sa chaire jusqu'en 1701, époque à laquelle il devint membre du Parlement. Il présenta à la Société Royale de Londres, en 1686, son immortel ouvrage : *Philosophiæ naturalis principia mathematica.* Autore Is. Newton, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos Professore ducasiano et Societatis Regalis Sodali.

L'imprimatur est signé S. Peyo, Reg. Soc. Præses, julii 5. 1686. Le volume est daté 1687. Le but de l'ouvrage est indiqué dans la préface au lecteur, d'où nous extrayons les lignes essentielles : Mechanica rationalis erit Scientia motuum qui ex viribus quibuscunq ; resultant, et virium quæ ad motus quoscunq; requiruntur, accurate proposita ac demonstrata... Nos autem, non Artibus sed Philosophiæ consulentes, deq ; potentiis non manualibus sed naturalibus scribentes; ea maxime tractamus quæ ad Gravitatem, levitatem, vim Elasticam, resistentiam Fluidorum et ejus modi vires seu attractivas seu impulsivas spectant : Et ea propter hæc nostra tanquam Philosophiæ principia Mathematica proponimus. Omnis enim Philosophiæ difficultas in eo versari videtur, ut a Phenomenis motuum investigemus vires Naturæ, deinde ab his viribus demonstremus phenomena reliqua.

Dès 1666, Newton avait été préoccupé de l'attraction. Il n'est pas le premier qui ait indiqué la loi de la raison inverse du carré des distances.

Pythagore, Copernic, Tycho, Képler, Hooke l'avaient formulé. Newton le premier l'a établie. « C'est en ne s'écartant jamais de la géométrie la plus profonde, écrit Clairaut dans l'introduction qu'il a donnée à la traduction des *Principes* de la marquise du Châtelet, que Newton a trouvé la proportion dans laquelle agit la gravité. Le principe soupçonné par Képler et Hooke est devenu, dans les mains de Newton, une source de vérités admirables et inespérées. »

L'histoire de la découverte de Newton est des plus instructives au point de vue philosophique. Aucun de ses prédécesseurs n'avait été en situation de la faire. Newton y échoua d'abord. Les découvertes de cette portée ne peuvent se produire que lorsqu'un certain nombre de ressources sont accumulées. Des méditations que lui avaient inspirées, en 1666, la chute d'une pomme dans son jardin, à la découverte de l'attraction universelle il y avait loin. Les idées de Copernic, les travaux de Tycho Brahé, les découvertes de Képler, celles de Huyghens, le génie mathématique même de Newton ont été nécessaires. Et peu s'en est fallu que la découverte ne lui échappât. La longueur du rayon terrestre est un des éléments du calcul ; la valeur que Newton adoptait (60 milles anglais de 1760 yards ou $1609^{m},3149$) était trop faible d'environ un sixième de sa valeur (69 milles 1/2) [1]. Il reprit la question en 1679 en employant le résultat de la mesure de Picard 57,060 toises de $1^{m},94904$ équivalente à 69 mil-

1. Delambre à la page 44 de son Histoire de l'Astronomie : XVIIIe siècle donne du passage qu'il cite de l'ouvrage de Pemberton (a view of sir Isaac Newton's Philosophy), une traduction visiblement inexacte.

les 1/2 anglais, et constata que la force qui retient la Lune dans son orbite est à la pesanteur à la surface de la Terre exactement dans le rapport inverse des carrés des distances au centre de la Terre.

Pemberton, qui avait connu Newton dans les dernières années de sa vie, et qui eut seul le soin de s'occuper d'une nouvelle édition des *Principes*, explique dans l'introduction à son ouvrage « *Eléments de la philosophie newtonienne* » que Bacon est le premier qui, dans le *Novum organum scientiarum*, ait signalé l'absurdité qu'il y a à vouloir fonder les doctrines de la Philosophie naturelle sur de simples conjectures, en tirer des axiomes généraux et édifier sur eux un système, comme s'ils étaient des principes certains. Dans la seule méthode qui soit valable, les principes généraux apparaissent comme le dernier résultat des recherches. Bacon lui-même affirme qu'en suivant la véritable voie, dans l'étude de la Nature, on doit parvenir aux plus sublimes découvertes Newton en a donné le plus éclatant exemple.

Newton ne regarde comme fondamentaux qu'un très petit nombre de principes. « Il ne faut pas admettre en philosophie naturelle, plus de causes qu'il n'est nécessaire pour expliquer les phénomènes ; des causes semblables produisent des effets semblables ; les propriétés que nous constatons dans tous les corps soumis à l'expérience s'appliquent à tous les corps. Le centre du système du monde est fixe. » C'est sur ce principe qu'est fondée la méthode d'induction ; c'est en l'appliquant que Newton a prouvé que tous les corps de l'Univers gravitent les uns vers les autres.

Newton a réduit à trois les lois du mouvement : l'inertie, la proportionnalité des forces aux accélérations qu'elles produisent, l'égalité enfin de l'action qu'un corps exerce sur un autre et de la réaction du second sur le premier.

Il est tout à fait improbable que l'ordre suivi par Newton dans la rédaction des *Principes* et les démonstrations même qu'il donne de ses découvertes soient conformes à la marche de son esprit. On ne peut guère douter qu'il n'ait utilisé l'analyse mathématique qu'il a créée lui-même.

La lutte fut longue en Europe entre les Cartésiens et les Newtoniens. En Angleterre même, il s'écoula plus d'une génération avant que les découvertes de Newton fussent universellement admises. En 1747, Clairaut présenta à l'Académie des Sciences un mémoire sur la Lune (inséré dans le volume de 1745), dans lequel il déclare la loi de Newton insuffisante pour expliquer la totalité du mouvement de l'apogée. Le calcul de Clairaut lui donne une durée de révolution de dix-huit ans tandis que la révolution vraie se fait en neuf ans. Le triomphe des Cartésiens fut de courte durée ; Clairaut ayant, sur l'insistance de Buffon, poussé plus loin ses calculs, donna en 1749 un résultat conforme à celui des observations (Mém. pour 1748).

Le développement de l'astronomie pendant le XVIIIe siècle eut lieu dans deux directions très différentes. Tandis que les instruments, lunettes et télescopes, se perfectionnaient, des découvertes de plus en plus nombreuses se faisaient dans le domaine des observations. Flamsteed avait donné un catalogue de 3.310 étoiles. Halley, observateur des plus zélés, à qui est dû la

publication des *Principes* de Newton, avait indiqué le retour de la comète de 1682 en 1758-59, annoncé les mouvements propres de Sirius, Arcturus, Aldebaran et donné une méthode pour déduire la parallaxe du Soleil des observations des passages de Vénus. Bradley, à Greenwich, déduisait d'une longue suite d'observations méridiennes très soignées, en 1727, l'aberration, en 1748, la nutation, confirmant à la fois le système de Copernic, le mouvement de la lumière et l'attraction universelle. Maskelyne, en Ecosse, constatait la déviation du fil à plomb sous l'influence de l'attraction d'une montagne; deux expéditions de l'Académie des Sciences en Laponie et au Pérou donnaient les dimensions de la Terre, et La Caille vérifiait la méridienne de Paris à Perpignan. Il résultait de ces travaux la preuve certaine que la Terre est aplatie au pôle. Vers la même époque, Bouguer fondait la photométrie astronomique en essayant de comparer l'éclat du Soleil à celui de la Lune, l'éclat du bord du Soleil à celui du centre et évaluant l'éclat relatif des étoiles. Cassini à l'Observatoire de Paris trouvait quatre satellites de Saturne, Téthys, Dione, Rhéa et Japhet.

Le livre des *Principes* avait fondé la mécanique céleste. De cet immortel ouvrage, le troisième livre seul est consacré à l'étude du système du monde. Les premières lignes de ce livre sont à retenir ; elles précisent le plan de l'ouvrage : « In libris præcedentibus principia Philosophiæ tradidi, non tamen Philosophica sed Mathematica tantum, ex quibus videlicet in rebus Philosophicis disputari possit. Hæc sunt motuum et virum leges et conditiones, quæ ad Philoso-

phiam maxime spectant. Eadem tamen, ne sterilia videantur, illustravi Scholiis quibusdam Philosophicis, ea tractans quæ generalia sunt, et in quibus Philosophia maxime fundari videtur, uti corporum densitatem, et resistentiam, spatia corporibus vacua, motumque Lucis et Sonorum. Superest ut ex iisdem principiis doceamus constitutionem Systematis Mundani. »

Delambre est surpris de ce que Newton mentionne d'abord la loi des aires comme vérifiée pour les satellites de Jupiter, et aussi bien la proportionnalité du carré des révolutions aux cubes des grands axes. Newton dit ensuite que la loi des aires pour les planètes est bien connue des astronomes ; à propos de la relation entre les durées des révolutions et les distances, il écrit : « Hæc a Keplero inventa ratio in confesso est apud omnes. » Il est un peu puéril et probablement injuste de se demander, comme le fait Delambre, si Newton aurait pris ce détour pour rencontrer Képler sur son chemin le plus tard qu'il pourrait ». Le retard est d'un instant; dans la première édition des *Principes*, pour la 3e loi de Képler, c'est une simple interversion.

Newton garde d'ailleurs cet ordre jusqu'au bout ; dans cette édition, les prop. I, II et III qui affirment la loi de la raison inverse du carré des distances s'appliquent : la première aux satellites de Jupiter, la seconde aux planètes, la troisième à la Lune. La découverte des satellites de Jupiter avait été contemporaine des travaux de Képler. Depuis le commencement jusqu'à la fin du XVIIe siècle, leurs éclipse avaient été observées. Leur importance dans tout cosmogonie était évidente : c'est sans dout

ce qu'a voulu bien marquer l'auteur des *Principes*.

Newton lui-même a traité nombre de problèmes particuliers dans le système solaire. Les discussions, auxquelles son ouvrage a donné lieu, se sont continuées pendant tout le XVIIIe siècle. Ce que nous avons dit à propos des recherches de Clairaut sur le mouvement des apsides de la Lune en a été un des épisodes les plus importants. L'illustre astronome et géomètre français peut être regardé comme l'initiateur des applications de la doctrine de Newton, et ce sont ces applications qui ont établi de la façon la plus péremptoire la vérité de la loi de l'attraction universelle. Il est juste, en citant le nom de Clairaut, à propos des recherches de mécanique céleste, de mentionner en même temps ceux d'Euler et de d'Alembert dont les recherches indépendantes ont été si fructueuses.

*
* *

Entre la doctrine de Ptolémée et celle d'Al. Bitrogi, la scholastique chrétienne du XIIIe siècle hésita « poussée, écrit M. Duhem, à qui nous empruntons ce qui suit, vers celle-là, par la vive curiosité qui lui fait souhaiter une science naturelle conforme aux enseignements de l'expérience, entraînée vers celle-ci par son respect pour la métaphysique d'Aristote ». Le franciscain Bernard de Verdun considère les hypothèses de Ptolémée comme des vérités de fait, dont la certitude est antérieure à toute démonstration. Roger Bacon, qui avait d'abord penché vers la doctrine des Physiciens, finit par reconnaître

qu'elle est incompatible avec un certain nombre de faits. Bonaventure, qui ne sait où porter son choix, place son espérance en l'invention de quelque nouveau système où les principes du physicien et les observations de l'astronome seront sauvegardées. Thomas d'Aquin, s'inspirant de Simplicius, est dans le même état d'esprit. Il pense qu'on peut rendre compte d'une chose par un principe dont elle découle par raison suffisante ; on peut aussi faire voir que les effets s'accordent avec un principe posé d'avance ; ce qui n'est pas un motif suffisamment probant. En 1330, Jean de Jaudùn, admirateur d'Aristote, adopte pleinement, néanmoins, le système de Ptolémée, déclarant qu'il suffit aux Astronomes qui n'ont pas à se soucier du pourquoi dont la recherche regarde le physicien.

Au XIVe siècle, les maîtres de l'Ecole de Vienne, Purbach et Regiomontanus, ne se préoccupaient que des détails de la science et aucunement des hypothèses auxquelles elle pouvait donner lieu ; ceux de l'Ecole de Padoue, admirateurs d'Averroës, rejetaient au contraire le système de Ptolémée et cherchaient une théorie fondée sur les sphères homocentriques. Fracastor, en 1335, écrit au sujet des excentriques : « On n'a pu jusqu'ici rencontrer un philosophe qui permit d'affirmer l'existence de ces sphères monstrueuses parmi ces corps divins et parfaits. » Seulement, les averroïstes, tout en sentant qu'il faudrait bien que leur doctrine expliquât les phénomènes, laissent à d'autres le soin de le constater. Plus d d'ailleurs, parmi leurs adversaires, prétend pr ver que les hypothèses de Ptolémée sont, seulement recevables, mais vraies, ne voyant

qu'il pourrait y avoir d'autres hypothèses. Au voisinage de 1500, Pontano admet que les corps célestes accomplissent leurs mouvements d'une manière spontanée, sans être aidés par des forces ni attirés vers le Soleil par la chaleur. Il admire le système des épicycles, mais leur dénie toute réalité objective. Il regarde la détermination numériquement exacte des mouvements célestes comme l'objet même de l'Astronomie.

A la fin du XVe siècle, le cardinal Nicolas de Cues admet qu'il est impossible qu'une intelligence finie puisse s'assimiler une vérité précise. L'essence même des choses ne saurait être atteinte par nous en toute sa pureté. Plus profondément nous serons instruits de notre ignorance, plus nous approcherons de la vérité même. » Il attribue aux astres une nature semblable à celle des quatre éléments ; il considère que la connaissance des Causes et des Essences est inaccessible à l'homme. La physique qui lui est accessible est faite de fictions ; elle peut se perfectionner toujours et avoir celle des Causes pour limite.

Lefèvre d'Etaples, dans un ouvrage imprimé en 1503, dit que notre intelligence compose des cieux fictifs et des mouvements fictifs, simulacres des vrais cieux et des vrais mouvements. Pour Luiz Coronel, au Collège de Montaigu (1511) « la Physique n'est pas une science déductive dont les propositions résultent de principes évidents *a priori* : elle a son origine dans l'expérience et les principes de la cosmologie sont des hypothèses imaginées pour expliquer les phénomènes. « Au XIVe et au XVe siècle, l'école parienne a ainsi donné des enseignements plus

justes et profonds que ce qui sera dit dans les siècles qui suivront.

En 1543, paraissait l'ouvrage de Copernic dont l'auteur cherche, comme Averroës, à expliquer les apparences, mais à les expliquer exactement au moyen d'hypothèses vraies. Il trouve que le mouvement de la Terre, simple hypothèse fictive, permet d'y parvenir. Il semble, dit M. Duhem, qu'il ait cru que son hypothèse était la seule qui pût le faire. C'est du moins l'avis de son élève, Joachim Rhaeticus, qui admet que les hypothèses du système de Copernic ont leur base dans la nature des choses.

En même temps, une opinion opposée se manifestait avec éclat : Osiander (Hossmann) insérait en tête de l'ouvrage de Copernic une préface anonyme dans laquelle il insiste sur ce qu'il n'est pas nécessaire que les hypothèses soient vraies, ni même vraisemblables ; il suffit que le calcul auquel elles conduisent s'accorde avec les observations. Erasme Reinhold est dans le même état d'esprit : il admet qu'aux causes proposées par Ptolémée il est permis d'en substituer d'autres, si elles expliquent mieux les phénomènes. Dès l'apparition de l'ouvrage de Copernic, il le commenta, le compléta en dressant, d'après les nouveaux principes, des tables nouvelles. Philippe Mélanchton, qui enseignait avec Reinhold à Wittemberg, avait les mêmes doctrines. Piccolomini (1563) écrit que : « C'est se tromper pleinement que de penser que Ptolémée et ses successeurs ont fait leurs imaginations, inventions ou combinaisons avec la ferme croyance qu'il en est ainsi dans la nature. » Ce fut l'état d'esprit de la plupart des astronomes de la géné-

ration qui suivit la publication du livre de Copernic.

M. Duhem constate que c'était aussi l'état d'esprit des théologiens. Luther avait déclaré la guerre, au nom de l'Ecriture, aux hypothèses de Copernic. Melanchton écrit à leur sujet que les savants n'ont point l'intention d'affirmer de telles choses : « que les jeunes gens comprennent que la vérité a été manifestée par Dieu, qu'ils l'embrassent avec respect et se reposent en elle ». Il admire la théorie de la Lune qui résulte du système de Copernic, mais est convaincu que ni Copernic ni ses disciples n'ont considéré ce système comme une réalité. M. Duhem pense que les théologiens catholiques contemporains de Mélanchton pensaient comme lui. Les calculs relatifs à la réforme du calendrier furent faits à l'aide des Tables de Reinhold. Mais à la longue, ces théologiens non seulement regardent les hypothèses de Copernic comme fausses en Philosophie, hérétiques en Théologie ; mais ils ne veulent pas qu'on en use en astronomie. Peucel, élève de Reinhold et de Mélanchton rejette les hypothèses de Copernic, mais admet les modes de calcul auxquels elles conduisent. Depuis la réforme du calendrier jusqu'à la condamnation de Galilée, on va exiger que toute hypothèse soit au moins probable : on va donc, écrit M. Duhem, mettre l'Astronomie sous la dépendance de la Philosophie et de la Théologie.

Le jésuite Clavius, en 1581, un des membres de la Commission chargée de préparer la réforme du calendrier, encore que grand admirateur de Copernic, n'en croit pas moins à la réalité des épicycles et des excentriques, ou de combinai-

sons équivalentes. Le triple mouvement de la Terre, la fixité du Soleil lui paraissent absurdes et lui semblent contredire « à ce que les Saintes Ecritures enseignent en un grand nombre d'endroits ». Tycho Brahé, protestant, avait dit, en 1578, des choses équivalentes.

Tandis que les adversaires du système de Copernic regardaient de plus en plus les hypothèses comme exprimant des réalités physiques, ses partisans se plaçaient « avec bien plus de fougue que les Ptoléméens, dit M. Duhem, au même point de vue ». Giordano Bruno, en 1584, le fait en termes d'une « brutale grossièreté ». Képler lui-même n'hésite pas à déclarer que tout ce que Copernic a découvert *a posteriori* « pouvait être démontré *a priori* de manière à exclure toute hésitation et à ravir le témoignage même d'Aristote s'il vivait encore ». Dans une apologie de Tycho, écrite en 1601 et publiée récemment, il dit : « Tous les auteurs célèbres qui ont paru jusqu'à ce jour examinent leurs hypothèses à l'aide de raisons qui leur sont fournies tant par la géométrie que par la physique, et ils désirent les concilier avec l'une comme avec l'autre ». Dans son *Epitome astronomiæ Copernicanæ*, il veut que la Science repose sur des fondements assurés par la Physique et la Métaphysique ; nous avons déjà dit qu'il veut qu'ils ne soient pas contredits par l'Ecriture. De plus, il espère que l'astronomie fondée sur des hypothèses vraies pourra contribuer au progrès de la Physique et de la Métaphysique.

Galilée a d'abord admis le système de Ptolémée Il tenait à ce que les hypothèses, c'est-à-dire le propositions fondamentales sur lesquelles repos

la théorie, fussent conformes à la réalité et à la Physique de l'Ecole. Dans son petit *Traité de Cosmographie*, écrit en 1606, il n'invoque pas, cependant les textes de l'Écriture. En adoptant le système Copernic, il continuera à vouloir s'appuyer sur des raisons de Physique; reconnaissant la divine inspiration de l'Écriture, il fut conduit à accorder ses propositions avec la Bible. Mais les théologiens de 1616 en étaient à la doctrine d'Aristote et d'Averroës et ne reconnaissaient pas d'autre interprétation de l'Ecriture que celle des Pères. Ils déclarent *stultæ et absurdæ in philosophiâ* les deux hypothèses fondamentales que le soleil est immobile au centre du monde, que la Terre se meut d'un double mouvement; la première proposition était *formaliter hæretica*, la seconde *ad minus fide erronea*. Défense fut faite à Galilée d'enseigner la doctrine de Copernic.

Cependant, dès 1615, le cardinal Bellarmin avait écrit à Foscarini que lui et Galilée agiraient prudemment en se contentant de parler ex suppositione, comme avait fait Copernic, et non d'une manière absolue. Des lettres de Galilée écrites à cette occasion montrent qu'il croyait absolument à la réalité du mouvement de la Terre. « Pour montrer que la position de » Copernic n'est pas contraire aux Écritures il » suffit, écrit-il, de montrer par mille preuves » qu'elle est vraie. » Encore faudrait-il montrer que les faits observés ne peuvent être expliqués autrement. Ni Bellarmin, ni Urbain VIII en 1616, ne purent persuader Galilée et la condamnation de 1633 suivit celle de 1616. M. Duhem constatant que la logique était du côté d'Osiander, de

Bellarmin et d'Urbain VIII et que cependant c'est Képler et Galilée que la postérité a placés au rang des grands réformateurs de la méthode expérimentale, en conclut qu'il s'est produit autre chose, quelque progrès de haute importance dont Galilée et Képler n'avaient pas la conscience nette, mais qu'ils prévoyaient vaguement, comme si l'homme qui est capable de travail inconscient pouvait aussi être en état de prévision inconsciente. Le progrès fut éclatant quand Newton eut étendu aux astres les lois des phénomènes terrestres de telle sorte qu'il n'y eut plus qu'une Physique.

Mais la mentalité des savants est bien des fois repassée par les mêmes vicissitudes. Combien d'hypothèses au XIXe siècle regardées comme évidentes par les uns, comme de simples possibilités par les autres, ont été abandonnées, puis reprises avec des changements de noms. N'avons-nous pas vu tel savant illustre assister à l'abandon de théories admirables créées par lui. Un changement bien profond, pourtant, s'est produit, vraie cause de la gloire de Galilée. Les auteurs de cosmogonies pas plus que ceux des théories physiques ne sont ni condamnés, ni simplement poursuivis. La méthode expérimentale s'applique librement dans les branches les plus diverses du savoir humain ; chacun le plus souvent a des idées préconçues sur la nature des choses dans l'ordre dont il s'occupe ; il semble que ce soit une condition indispensable de la découverte : quelques-uns travaillent de leur mieux à les faire partager par d'autres ; la plupart sont prêts à les abandonner le jour où une contradiction patente se manifeste avec des faits certains.

Tycho-Brahé, Képler, Copernic, Galilée, Roger Bacon, Huyghens, Newton et toute la phalange qui a illustré le XVe, le XVIe et le XVIIe siècle ont fondé la méthode expérimentale. Depuis, les efforts réunis des savants et des philosophes l'ont perfectionnée et y ont ajouté le dogme nécessaire de la liberté scientifique.

B. BAILLAUD.
de l'Institut,
Directeur de l'Observatoire de Paris.

CHIMIE PHYSIQUE[1]

I

Il est difficile de caractériser une Science en quelques lignes, de manière à en donner une idée suffisamment exacte à ceux qui n'ont pas déjà parcouru son domaine entier. On peut douter, d'ailleurs, de l'intérêt d'une pareille analyse dans le cas d'une Science déjà ancienne : on sait alors très bien quelles matières en forment l'objet, et l'on croit avoir le sentiment de son unité (parfois peut-être avec juste autant de raisons qu'on en peut avoir à trouver « naturel » d'acheter dans une même boutique des timbres-poste et du tabac). Mais l'utilité d'indications très générales est moins discutable dans le cas d'une science nouvelle : ces indications contribuent alors à orienter l'esprit dans la direction, cette fois inconnue, où il va s'engager ; de plus, elles peuvent faciliter la critique d'une classification qui a réuni certains faits ou certaines théories d'une façon que le temps n'a pas ore éprouvée.

[1] Je remercie M. Gauthier-Villars de m'avoir autorisé à reprendre s les premières pages de cette étude certains passages de la face de mon livre *Les Principes*.

Sans me faire trop illusion sur la portée possible d'une pareille tentative, je veux donc essayer de délimiter le domaine que prétend se réserver la Chimie physique. Pour cela, je dois rechercher tout d'abord ce qui fait l'unité logique de chacune des deux disciplines dont la nouvelle Science est dérivée, en accentuant surtout les caractères par lesquels ces disciplines diffèrent et peuvent se compléter l'une l'autre.

*
* *

Il n'est pas nécessaire de feuilleter longtemps un Traité de Chimie pour s'apercevoir qu'une partie au moins du but poursuivi consiste dans l'étude individuelle de substances définies, en nombre relativement restreint, dont le mélange forme l'infinie diversité des matières qui s'offrent à notre observation. Ou, pour abréger, employant de suite un langage dont la base objective ne peut plus guère être mise en doute, le but le plus évident de la Chimie est peut-être de déterminer les propriétés qui, à l'échelle de nos observations, traduisent la présence de chaque sorte de molécules. C'est ainsi que deux faits sont exposés côte à côte, si dissemblables qu'ils soient, lorsqu'ils sont relatifs à un même corps et que l'on voit succéder l'une à l'autre des monographies construites sur un plan invariable, exposant chacune la « préparation », les « propriétés » et l' « analyse » d'un corps déterminé c'est-à-dire en définitive d'une sorte déterminé de molécules.

Mais, de plus, on s'aperçoit vite qu'un effor considérable a été fait pour classer ces différente:

molécules, et qu'on ne se borne pas à les grouper autour des atomes dont elles dérivent. Il faut bien, en effet, tant pour guider la recherche expérimentale que pour alléger l'exposition, se borner à décrire parmi les innombrables « réactions » auxquelles peut se prêter un corps, celles que l'on jugera les plus saillantes. Or, sans prétendre fixer par un seul caractère quelles réactions paraîtront importantes, et lesquelles seront dédaignées, on peut affirmer que les chimistes s'intéressent toujours particulièrement à celles qui font apparaître des analogies entre les différents corps. Déjà, dans la Chimie inorganique, de tels rapprochements facilitent beaucoup la tâche de la mémoire, mais leur importance grandit énormément en Chimie organique, en même temps qu'on voit s'introduire les « formules de constitution », langage réellement admirable par lequel analogies et propriétés se trouvent exprimées d'une manière singulièrement heureuse et condensée.

Est-ce là tout ? C'est peut-être tout ce qu'on verrait dans les livres, qui ne peuvent exposer que la Science faite, mais la fréquentation des laboratoires montrera vite qu'un chimiste exercé, guidé par un sentiment profond des analogies importantes, sait affirmer l'existence de corps qui n'ont jamais été réalisés et sait prévoir, comme Le Verrier fit pour Neptune, de quelle manière on trouvera ces corps et quelles sont leurs propriétés probables.

Enfin, toujours au Laboratoire, on comprendra comment ce même chimiste apprend de mieux en mieux à saisir sur les plus faibles indices les plus légères traces des molécules nouvelles ou

des atomes encore inconnus qu'une technique heureuse, ou simplement quelque hasard, auront placés dans les corps qu'il manie.

Tels paraissent être les caractères essentiels de la Chimie, dont on peut dire qu'elle caractérise, classe, analyse, prépare, et bien souvent prévoit, les diverses sortes de molécules ou d'atomes.

Or, ni molécules, ni atomes ne peuvent être rangés par gradations insensibles en une série continue : la loi des proportions définies, la loi des nombres proportionnels n'ont de sens que parce qu'il y a discontinuité nécessaire entre un corps pur et un autre corps pur. On s'explique ainsi tout de suite comment les connaissances mathématiques, où les fonctions continues tiennent tant de place, ont fort peu servi en Chimie. Seules, l'analyse combinatoire et une sorte de géométrie de position ont pu s'y faire une place d'ailleurs modeste, grâce à l'emploi des formules structurales.

De même, on comprend que, sans obéir cependant sur ce point à une nécessité aussi rigoureuse, les chimistes se soient trouvés peu disposés à prêter beaucoup d'attention à des appareils de mesure, spécialement construits en vue de grandeurs susceptibles de variations continues. Et, de fait, la balance exceptée, ces instruments de mesure ne leur sont pas d'un usage très fréquent. Leur ingéniosité semble s'être plutôt portée sur les moyens de manier ou de mettre en contact les différents corps sous forme solide, li[illegible]e ou gazeuse, et dans des conditions de tem[illegible]a-ture ou de pression aussi variées que poss[illegible]e. Ainsi s'est imposée la multiplicité de récip[illegible]ts

ou de fourneaux qui donne l'aspect moyen d'un laboratoire de Chimie.

Enfin, la discontinuité est tellement dans l'esprit de la discipline chimique, qu'on a regardé jusqu'à présent comme relevant plus particulièrement du domaine de la Chimie les transformations de matière accompagnées d'un changement profond et permanent. C'étaient les *phénomènes chimiques*. Nous nous rappelons tous, par exemple, avoir entendu citer, comme type de ces phénomènes, la combustion du cuivre dans la vapeur de soufre, et à peu près dans les termes suivants : « Si l'on élève lentement la » température d'un ballon contenant des copeaux » de cuivre et de la fleur du soufre, on voit » soudain, alors que la température extérieure » est encore bien inférieure à celle du rouge, les » copeaux devenir incandescents ; cette incan- » descence disparaît bientôt d'elle-même ; et, si » alors on laisse le ballon se refroidir lentement, » supprimant ainsi la cause qui a produit le phé- » nomène, on ne revient pas à l'état initial, mais » on trouve dans le ballon une matière noire, » très différente du soufre et du cuivre qui lui » ont donné naissance en disparaissant. Le phé- » nomène est donc irréversible ; c'est un phéno- » mène chimique. »

Ainsi, tandis qu'on aurait dû, ce semble, désigner par cette expression toute transformation, réversible ou non, qui dans un système matériel donné, s'accompagne de la dislocation ou de la construction de molécules, on a longtemps réservé le nom de *phénomènes chimiques* aux seuls phénomènes irréversibles, afin de retrouver partout la discontinuité.

*
* *

Si maintenant nous voulons caractériser en peu de mots l'esprit de la Physique, nous pouvons dire sans erreur trop grossière, qu'elle étudie surtout les propriétés des systèmes matériels dont les atomes ne subissent aucun de ces réarrangements discontinus qui donnent de nouvelles molécules. Ces propriétés pourront donc varier, et varieront en général, de façon continue. Dès lors, les fonctions continues s'introduiront forcément dans les théories et permettront d'utiliser la puissance de l'Analyse mathématique, au point que l'ensemble des lois régissant les grandeurs étudiées puisse être déduit rigoureusement d'un petit nombre de lois irréductibles.

En même temps que les fonctions continues, on verra s'imposer les notions d'équilibre et de réversibilité. « Si, par exemple, on chauffe lentement une barre de fer, on la voit se dilater et devenir incandescente. Chacun des états rencontrés pendant cette transformation est, d'ailleurs, un état d'équilibre : si, en effet, à un instant quelconque, on maintient la température fixe, la barre conserve indéfiniment l'état qu'elle avait atteint; si, au contraire, on abaisse lentement la température, la barre de fer revient à l'état initial, en repassant, dans l'ordre inverse, par tous les états d'abord observés. » Le phénomène est donc réversible : c'est un « *phénomène physique* ». Comme on voit, on peut indifféremment dire que la transformation est réversib
ou qu'elle est formée par une suite contin
d'états d'équilibre, et cela revient à dire qu

dans les conditions données, l'état de la barre est seulement fonction de la température. Citons encore, comme exemple classique de tels phénomènes, la liquéfaction d'une vapeur pure à température constante : Imaginons la vapeur enfermée sous faible pression dans un corps de pompe fermé par un piston ; si l'on appuie graduellement sur le piston, la pression grandit d'abord, puis reste fixe dès qu'elle a atteint une certaine valeur, alors pourtant que le piston continue à descendre ; en même temps, une couche liquide se forme et grandit aux dépens de la vapeur, dont les propriétés ne changent plus. Si on retire lentement le piston, on observe, dans l'ordre inverse, la même série de phénomènes. Comme précédemment, il y a donc réversibilité ou suite continue d'équilibres, l'état de la vapeur à la température fixée étant fonction de la seule pression ; c'est encore un phénomène physique. »

Ajoutons enfin qu'une propriété mesurable, observée sur un corps, se retrouve en général dans un très grand nombre d'autres corps. Nous comprendrons ainsi que le physicien, l'attention fixée sur cette propriété, perde un peu de vue la matière où elle se manifeste et qui lui permet de l'étudier. — Si, par exemple, il veut étudier la propagation d'une onde au travers d'un milieu matériel, il lui suffira que l'élasticité de ce milieu satisfasse à certaines conditions très générales, réalisées pour un nombre immense de corps. Comment la nature spéciale de chacun de ces corps ne lui deviendrait-elle pas dès lors quelque chose indifférente ? Et, en fait, sans aller jusqu'à prétendre que les physiciens se contentent de carac-

tériser les corps comme « isolants » ou « conducteurs », il est bien certain qu'on peut être un physicien de premier ordre et ne pas savoir beaucoup de chimie. En ce sens, l'étude des champs de force et des radiations, apparaîtra comme étant ce qui, dans l'état actuel, caractérise le mieux l'esprit de la Physique.

Les physiciens auront donc peu de tendance à s'occuper de cas où, malgré l'existence de variations continues et réversibles, une connaissance chimique tout à fait précise du système étudié se trouve indispensable. Pas plus que les chimistes, et pour des raisons symétriques, ils ne s'occuperont sérieusement des mélanges homogènes où s'accomplissent des réactions chimiques.

Il va être maintenant assez facile de caractériser l'objet de la chimie physique.

*
* *

Rappelons tout d'abord une expérience qui montre de façon remarquable comment le concours de notions séparément familières aux physiciens et aux chimistes peut être indispensable à la claire compréhension d'un phénomène donné.

Imaginons, comme tout à l'heure, un corps de pompe fermé par un piston, mais contenant, cette fois, de la chaux vive et du gaz carbonique à la température de 960°. La pression peut être prise assez faible pour qu'il n'y ait pas trace de carbonate de calcium dans l'enceinte. Si alo la température étant maintenue constante, abaisse graduellement le piston, la pressi

grandit, puis atteint une valeur correspondant à 52 centimètres de mercure ; à partir de cet instant, elle reste fixe, bien que le piston continue à descendre ; mais il se forme du carbonate de calcium, dont la masse grandit aux dépens de la chaux et du gaz carbonique restants. Chaque position du piston définit, d'ailleurs, un état d'équilibre. Enfin, la transformation est réversible, car, si l'on soulève le piston, le carbonate de calcium disparaît graduellement, et l'on retrouve, dans l'ordre inverse, les états précédents. L'analogie avec le phénomène de la liquéfaction est évidente, et, néanmoins, il serait difficile de dire qu'il ne s'est pas produit une réaction chimique. Seulement, nous avons vu cette réaction se produire d'une façon *réversible*, au contraire de la majeure partie des réactions d'abord étudiées en chimie.

Notons qu'avant de connaître cette expérience on savait combiner le gaz carbonique et la chaux par voie irréversible. Nous savons maintenant arriver au même résultat par voie réversible, à la condition de passer par les températures élevées. C'est là un résultat qui paraît général, et l'expérience qui vient d'être décrite n'est qu'un exemple particulièrement simple choisi dans une classe de phénomènes fort nombreux. On a été ainsi conduit à penser qu'à toute transformation irréversible, pourvu toutefois qu'elle prenne et laisse dans un état d'équilibre le système qui la subit, correspond au moins une transformation réversible, ayant même origine et même extrémité, qu'on réalisera, par exemple, en acceptant opérer à haute température.

Le domaine des transformations réversibles

apparaît ainsi comme très vaste ; là, des grandeurs variant d'une manière continue interviendront comme en Physique ; on pourra donc raisonner de semblable manière, et formuler de nouveau des lois très générales qui recevront facilement une expression mathématique. Dans ce domaine viendra naturellement s'encadrer l'étude systématique des mélanges homogènes et des réactions réversibles qui s'y produisent. On verra se former ainsi une branche de la Chimie physique, à laquelle on peut donner le nom de *Statique chimique*, rappelant par là qu'une transformation réversible équivaut à une suite d'états d'équilibre.

Cessant de nous préoccuper des états d'équilibre, considérons ces transformations irréversibles elles-mêmes dont la Chimie se réservait l'étude, telles que la combustion du cuivre dans le soufre ou celle du fer dans l'oxygène.

Observons qu'en réalité la transformation même est peu étudiée par le chimiste. Il décrit très soigneusement les produits de la réaction, mais sur la transformation même il dit seulement ce qui est nécessaire pour la retrouver et la reconnaître. Il nous apprendra, par exemple, que « le phosphore brûle avec un vif éclat dans l'oxygène », mais il s'en tiendra là. On conçoit qu'une science, déplaçant le centre de l'attention, s'occupe davantage de la transformation même que de l'état initial et de l'état final des corps en présence. On comprend qu'on pourra se demander, par exemple, comment la pression de l'oxygène ou la présence d'un gaz inerte influeront sur la vitesse de combustion. Bref, en présence d'une transformation irréversible, on recherchera quel

facteurs modifient la vitesse de la réaction et comment ils la modifient. Ce sera la *Dynamique chimique*.

Si, enfin, pour chacune des substances qui possèdent une certaine propriété mesurable, on répète la mesure correspondante, on verra se constituer une troisième branche de la Chimie physique.

Les physiciens définissent, par exemple, l'indice de réfraction, apprennent à le mesurer, montrent les conséquences de cette notion dans la construction des instruments d'optique, mais toujours peu préoccupés de la matière spéciale qui sert de support à leurs conceptions, ils ne chercheront guère si quelque relation générale permet d'exprimer l'influence de la composition des corps sur la valeur numérique de l'indice.

D'autre part, c'est tout au plus si l'on trouve dans les Traités de Chimie les indices des corps les plus importants. On aperçoit donc, là encore, des recherches qui trouveront leur place naturelle dans la nouvelle Science, et qui auront pour but d'exprimer *l'influence de la composition du corps sur ses propriétés*.

Mais il s'en faut que la Chimie physique se borne à étudier les faits que l'on peut rattacher à l'une des trois idées directrices qui viennent d'être indiquées. Et d'un commun accord physiciens et chimistes classeront dans le nouveau domaine des phénomènes, sans cesse plus nombreux, dont l'étude se poursuit par les méthodes propres de la Physique, et dont pourtant l'intérêt principal se trouve surtout dans les conclusions que peuvent en tirer les chimistes.

C'est ainsi que tous les savants regardent comme relevant de la Chimie physique les beaux travaux par lesquels Van t'Hoff a pu étendre aux solutions non conductrices les lois qui caractérisaient l'état gazeux, augmentant immensément, du même coup, le nombre des cas où l'on peut déterminer les poids moléculaires relatifs. Et lorsqu'Arrhenius réussit à étendre ces lois aux électrolytes, en montrant que leurs molécules se rompent en ions chargés d'électricité contraires, il devint de même impossible de ne pas rattacher à la nouvelle science toutes les recherches relatives à ces ions, où la Chimie inorganique reconnaissait les « radicaux » autour desquelles elle groupait déjà toutes les connaissances de l'Analyse chimique.

Dans le nouveau domaine encore, on classera les recherches, intéressantes à la fois pour les physiciens, les chimistes et les biologistes, qui se rapportent à cet état colloïdal encore mystérieux, où l'on voit déjà intervenir, avec les propriétés spécifiques des ions, les lois de la capillarité et de l'électrisation de contact. Et, sans qu'il soit nécessaire d'en indiquer ici d'autres raisons que leurs noms mêmes, on devra y placer aussi la Thermochimie, la Spectrochimie, la Photochimie.

Et ce n'est pas tout. Peut-on penser que les chimistes se désintéresseront longtemps de ce grand mouvement de recherches, jailli de la découverte des rayons X, qui, en quelques années seulement, a changé les bases de presque toutes les sciences? Alors que les atomes sont, en définitive, l'objet essentiel de leurs études, pourront ils ne pas s'inquiéter des transmutations par les-

quelles ces atomes naissent les uns des autres? Et dans la recherche commencée déjà d'un substratum matériel plus profond que l'atome dont l'architecture compliquée se dévoile peu à peu, ne voit-on pas encore se dessiner un vaste terrain de recherches, qui ne peut dépendre uniquement soit de la Physique, soit de la Chimie?

Ainsi, de toutes parts, nous voyons s'effacer et progressivement disparaître, les distinctions qu'on aura élevées seulement pendant deux ou trois siècles entre les deux grandes sciences de la Matière.

Dès à présent on peut prévoir qu'elles se fondront en une science unique dont tous les savants devront connaître les grandes lignes, sauf à se spécialiser ensuite dans divers ordres de recherches qui ne leur paraîtront pas plus profondément différentes que ne paraissent au physicien actuel des recherches d'optique ou d'électricité.

II[1]

Deux tendances qui se trouvent à des degrés divers chez tous les hommes ont joué un rôle particulièrement important dans le progrès des sciences physiques.

L'une de ces tendances est déjà manifeste dans l'enfant qui, après beaucoup d'observations semblables, sait très bien ce qui arrivera si, ouvrant la main, il lâche un objet. Pourtant il n'a jamais

1. Cette seconde partie se rapporte à la Méthode dans les Sciences physiques en général.

peut-être soutenu ce même objet, et, en tout cas, jamais tout à fait dans les mêmes conditions, mais il sait reconnaître en sa sensation musculaire actuelle quelque chose d'analogue à ce qu'il y avait précisément de semblable en toutes les sensations musculaires antérieurement ressenties, quand, lâchant un objet, il l'a vu tomber.

La faculté par là utilisée paraît être essentiellement l'intelligence des analogies ; elle doit, pour être féconde, réussir à pénétrer le degré d'importance ou même l'existence des analogies quelquefois très profondes que peuvent présenter des phénomènes qu'un examen superficiel pourrait laisser croire très différents. Des hommes tels que Galilée, Joule ou Carnot, auxquels nous devons l'*Energétique*, ont possédé ce sens à un degré extraordinaire et doivent être comptés parmi ceux qui ont rendu le plus de services à l'humanité.

Mais une autre tendance, également présente chez tous les hommes, se manifestera si, par exemple, on nous met en présence d'une machine où tous les organes ne sont pas visibles. Nous pourrons, bien entendu, raisonner d'abord seulement sur les pièces visibles, qui, en un sens, ont seules pour nous de la réalité objective tant que nous n'avons pas le droit (ou le pouvoir) de démonter la machine; nous pourrons chercher des relations simples entre les mouvements de ces pièces visibles, observant par exemple que dans une horloge la grande aiguille tourne douze fois plus vite que la petite ; mais nous pourrons aussi, et nous ne nous en ferons pas faute, chercher à *deviner* quels organes cachés expli-

quent les mouvements visibles. Chercher ainsi à *deviner* l'existence ou les propriétés d'objets qui ne peuvent encore être atteints par notre expérience, *chercher à expliquer du visible compliqué par de l'invisible simple*, voilà la tendance à laquelle, grâce aux efforts d'hommes tels que Dalton, Maxwell ou Van der Waals, nous devons l'Atomistique.

*
* *

Pour mieux analyser les méthodes qui relèvent de ces deux tendances, nous ne pouvons éviter d'indiquer, pour chacune d'elles, au moins une application particulière.

Un enfant, disions-nous, sait très bien qu'un objet qu'il soutient tombera s'il le lâche ; il apprendra bien vite également que cet objet, une fois par terre, ne se mettra pas tout d'un coup à remonter tout seul. Pour préciser un peu, nous savons bien tous, par exemple, quand nous disons qu'un ascenseur ne s'élève pas *tout seul*, que cela veut dire qu'il faut payer l'élévation de l'ascenseur d'un prix d'autant plus important que l'ascenseur est plus lourd et qu'il monte plus haut, prix qui pourra être la descente d'une certaine masse d'eau ou une modification chimique produite dans une pile, qui pourra donc varier en nature mais qui ne se réduira jamais à rien.

Il est alors naturel de se demander si, du moins, on ne peut diminuer ce prix. Nous savons, par exemple, au moyen d'un treuil, élever une tonne de 1 mètre en laissant descendre 100 kilos grammes de 10 mètres, ne peut-on espérer réa-

liser un mécanisme qui, pour ce même prix, savoir 100 kilogrammes abaissés de 10 mètres, nous permettrait d'élever 1.200 kilogrammes de 1 mètre? Comme Galilée eut la gloire de le comprendre, cela reviendrait en somme à dire que, dans certaines circonstances, 200 kilogrammes pourraient s'élever tout seuls de 1 mètre, et, puisque nous ne croyons pas cela possible, nous devons admettre avec Galilée le principe de *l'équivalence des mécanismes* qui permettent d'acheter l'élévation d'un poids par l'abaissement d'un autre poids.

C'est déjà un principe bien général, mais, toujours par le même genre de raisonnement, on peut l'étendre bien plus encore. Par exemple (et cette observation généralisée donnera toute la calorimétrie), si on fond de la glace en refroidissant du mercure de 100° à 0°, on trouve toujours exactement 42 grammes de glace fondue par kilogramme de mercure employé, que l'on opère par contact ou par rayonnement, ou de toute autre manière imaginable, pourvu que tout se réduise à de la glace fondue et à du mercure refroidi de 100° à 0°. Plus instructives encore se sont trouvées les expériences où, par l'intervention de frottements, on produit un échauffement par l'abaissement d'un poids. Si profondément qu'on transforme le mécanisme qui enchaîne les deux phénomènes, on trouve invariablement 1 calorie pour 428 kilogrammes abaissés de 1 mètre.

De proche en proche, on arrive en définitive à se convaincre ainsi de la loi générale qui constitue ce qu'on appelle le premier Principe de la Thermodynamique, et que l'on peut énoncer comme il suit :

Si avec un certain mécanisme on sait enchaîner deux phénomènes de façon que chacun d'eux soit l'unique répercussion de l'autre, il n'arrivera jamais, quel que soit le mécanisme employé, qu'on obtienne, comme effet extérieur de l'un d'eux, d'abord l'autre, et, en surplus, un autre phénomène, qui représenterait le bénéfice de la seconde opération [à moins bien entendu que cet autre phénomène ne soit de ceux qui peuvent se produire ou disparaître sans répercussion extérieure (variation isotherme du volume d'une masse gazeuse) ou s'acheter pour rien (déplacement d'une bille sur un plan horital poli), ce qui reviendrait à dire que le bénéfice est nul].

Pour atteindre cette proposition où l'on reconnaît le *Principe de la conservation de l'énergie*, on a procédé par généralisations sans cesse plus vastes, en pénétrant l'analogie profonde de relations phénoménales sans cesse plus nombreuses, mais sans jamais faire appel à aucune réalité invisible. C'est en ce sens qu'on a le droit de dire n'avoir fait aucune hypothèse.

*
* *

Il en est tout autrement dans les raisonnements qui introduisent les notions de molécules ou d'atomes. Pour tâcher de saisir l'esprit qui anime ces raisonnements, il faut au moins en rappeler quelques-uns que je choisis parmi les plus simples.

Le plus familier peut-être des phénomènes qui ıvent suggérer l'hypothèse moléculaire est la rsistance de propriétés qui permet de reconıître sans hésitation, dans ce que l'on appelle

un mélange homogène, tel ou tel corps déterminé. On dira couramment, par exemple, qu'il y a du sucre ou de l'eau dans tel mélange, et l'impression sera si forte et si claire qu'il faudra beaucoup de réflexion pour apercevoir ce qu'il y a d'étrange dans cette affirmation de l'existence d'un certain corps au sein d'un autre corps où cependant on ne peut distinguer des parties qui diffèrent les unes des autres.

Il n'est pas nécessaire alors, mais il n'est pas déraisonnable de penser, que les corps qu'on reconnaît ainsi dans un mélange y sont non pas superposés, mais réellement juxtaposés de façon aussi simple que pourraient l'être des perles de verre et des grains de plomb brassés ensemble, qui ne perdent rien de leur individualité et qu'on rassemblera aisément selon leur espèce. Dans de l'eau sucrée, par exemple, se trouveraient mêlées les unes avec les autres de petites particules qui, à elles toutes seules formeraient de l'eau et d'autres particules, qui, prises de même seules ensemble, formeraient du sucre. Ces particules élémentaires, ou *molécules,* se retrouveraient sans modification dans tous les mélanges où se reconnaissent l'eau ou le sucre, et leur extrême petitesse nous empêcherait seule de les percevoir individuellement. De plus, les molécules d'un corps pur tel que l'eau doivent être identiques les unes aux autres, sans quoi elles se comporteraient différemment vis-à-vis des divers procédés de fractionnement qu'on sait employer, en sorte que l'eau soumise à un fractionnement par évaporation ou par congélation ne rester pas rigoureusement identique à elle-même, comme on sait qu'elle le fait.

Dès lors que nous nous imaginons ainsi des molécules, nous sommes conduits à admettre que ces molécules sont en mouvement incessant, d'autant plus actif que la température est plus élevée. Nous ne pourrions guère nous expliquer sans cela les faits de diffusion réciproque qui se produisent chaque fois que l'on met deux fluides en contact. Surtout nous ne pourrions comprendre ce *mouvement brownien* éternel et spontané, dont on voit que s'agite toute particule microscopique placée dans ce que l'on appelle un fluide en équilibre, mouvement irrégulier qui s'explique au contraire fort bien si la particule observée est continuellement heurtée par des chocs moléculaires qui n'équilibrent leurs effets que de façon exceptionnelle.

Si maintenant nous voulons concilier l'existence de ces molécules avec les faits les plus élémentaires de la chimie, nous nous trouverons forcés d'admettre l'existence des éléments plus petits encore que l'on appelle des *atomes*. Considérons, par exemple, un mélange gazeux d'hydrogène et d'oxygène formé, en poids, de une partie du premier gaz et de huit du second; qu'une étincelle jaillisse dans ce mélange et nous cesserons d'y reconnaître les propriétés particulières à chacun des deux composants. Notre hydrogène et notre oxygène ne sont pas perdus cependant et l'on sait bien que par divers moyens tels que l'échauffement ou l'électrolyse on peut les retrouver intégralement. Aussi dit-on depuis longtemps qu'ils se sont *combinés* pour former d l'eau et, comme le mot de mélange, ce mot d *ombinaison* exprime implicitement la convic- t où nous sommes que ces matières subsistent

après la réaction. Il faut alors qu'il en subsiste dans chaque molécule du composé et chaque molécule d'eau par exemple, doit contenir de l'oxygène et de l'hydrogène. Or, quand on dissout du sodium dans l'eau, on chasse seulement la moitié de l'hydrogène qu'elle contient. L'hydrogène de cette eau et par suite l'hydrogène de chaque molécule se compose donc de deux parties distinctes. Aucune expérience ne conduit à distinguer dans cet hydrogène plus de deux parties ; nous penserons donc que ces deux parties sont insécables par tous les moyens chimiques, ou, plus brièvement, que ce sont des *atomes*[1].

Des considérations analogues conduisent à considérer pour chaque corps simple des atomes identiques et à déterminer combien chaque sorte de molécule contient d'atomes d'une espèce déterminée. Les lois de discontinuité, loi des proportions définies, loi des proportions multiples, loi des nombres proportionnels, qui sont la base de la chimie, prennent alors un caractère d'évidence intuitive, puisque, dans chaque molécule, la masse de chaque sorte de corps simple ne peut croître ou décroître que par bonds discontinus correspondants à l'entrée ou à la sortie d'un atome.

*
* *

Mais il ne s'agit pas ici de montrer la fécondité des hypothèses moléculaires et il suffisait de faire concevoir à grands traits comment elles ont pu se

1. Cette introduction des atomes par voie chimique à partir d substitutions, m'a été enseignée, comme à beaucoup de physicien ou de chimistes de ma génération, par L. J. Simon.

former et se développer. Certains faits nous ont suggéré la conception d'une structure discontinue de la matière, et cette hypothèse initiale était en somme invérifiable. D'autres faits nous ont amenés à la préciser progressivement, en dotant de diverses propriétés les éléments de structure ainsi imaginés, et on doit insister sur ce point que jamais, dans ces précisions successives, on n'a été conduit à une contradiction; comme il serait arrivé si, par exemple, certains phénomènes n'avaient pu se concilier avec l'hypothèse de molécules qu'à la condition de supposer ces molécules en repos, alors que nous avons été forcés d'admettre leur mouvement incessant. Cette absence de contradiction intérieure dans la théorie moléculaire n'est d'ailleurs pas simplement qualitative, et il n'arrive pas que, par exemple, un certain phénomène ayant conduit à attribuer une certaine grandeur à la vitesse moyenne des molécules d'un gaz, un autre phénomène se rencontre qui conduise à une valeur différente de cette vitesse moyenne. De plus, il faut également bien observer que, si la théorie moléculaire a été forcément en se compliquant au fur et à mesure qu'elle se précisait davantage en vue d'expliquer plus de phénomènes, cette complication est restée de façon évidente bien inférieure à celle des phénomènes que l'on envisageait, comme il est nécessaire, pour réussir véritablement à *expliquer du visible compliqué par de l'invisible simple*.

Néanmoins, il y a au début hypothèse invérifiable, au moins dans l'état actuel de nos connaissances, et c'est ce que les énergétistes purs ne veulent pas admettre. « Rien d'analogue en thermodynamique, disent-ils. Bien entendu, l'on y

fait des suppositions ; si, par exemple, on invente une machine nouvelle, mettons que ce soit le cric, nous supposerons tout de suite qu'elle ne peut créer du travail, mais c'est là une hypothèse immédiatement vérifiable, et par suite, un simple guide pour l'expérimentation. »

Et cela est parfaitement exact ; il faut seulement observer que chaque principe d'énergétique implique un nombre infini de ces hypothèses vérifiables, et c'est pour cela qu'en définitive ces principes dépassent colossalement en portée les données immédiates de l'expérience. Au contraire, si les hypothèses introduites par la théorie moléculaire sont directement invérifiables, elles sont en très petit nombre et l'on peut voir là encore l'une des différences qui séparent les deux méthodes.

Il peut arriver au reste, et il est arrivé, que telle hypothèse invérifiable au moment où elle fut formulée, a fini par devenir vérifiable. Expliquer les maladies contagieuses par des microbes eût été une hypothèse invérifiable au temps d'Hippocrate, et je n'ai pas besoin d'expliquer longuement que pourtant elle n'eût pas nui aux progrès de la médecine. La même hypothèse devenait vérifiable après la découverte du microscope, et l'on saisit sur cet exemple ce qu'il y a d'artificiel dans l'affirmation puriste qu'il faut proscrire une telle hypothèse avant l'invention du microscope et qu'on ne peut se la permettre qu'après cette invention. Un jour viendra sans doute où l'hypothèse atomique sera dever complètement vérifiable. L'esprit des atomis actuels se perpétuera alors, non plus chez c qui accepteront les atomes, devenus tangibl

mais chez ceux qui auront gardé le pouvoir de formuler avec succès des hypothèses à ce moment invérifiables, de *deviner* les choses qui n'auront pas encore tout à fait atteint le seuil de ce qui sera la réalité objective de cette époque.

Alors, comme aujourd'hui, les deux tendances que j'ai tâché de caractériser resteront sans doute fécondes ; mais l'on doit espérer qu'on ne rencontrera plus cette intolérance singulière trop souvent manifestée dans le dernier siècle, qui s'arroge le droit de dédaigner la méthode inductive ou de proscrire la méthode déductive. On sait, en effet, que trop d'atomistes ne s'inquiètent que de dériver toutes les propriétés directement sensibles de propriétés attribuées aux molécules ou aux atomes, et la richesse indéfinie de la nature qui ne se laisse pas enfermer dans une seule formule montrera de plus en plus l'insuffisance d'un tel effort. On sait aussi que trop d'énergétistes « purs » se refusent absolument à faire intervenir dans leurs raisonnements des éléments qui ne soient pas dès maintenant perceptibles; sans doute ils ne peuvent pas faire que la considération de ces éléments n'ait servi à trouver certaines des vérités sensibles dont ils reconnaissent l'importance (comme il est arrivé si souvent en chimie), mais alors ils s'efforcent d'éliminer complètement ces éléments invisibles dans l'enseignement de ces vérités, ce qui est à peu près aussi simple et heureux qu'il le serait de dissimuler soigneusement les piliers qui soutiennent
e cathédrale.
[l semble que pour les uns comme pour les
:res il y ait le même genre de parti-pris un
ı puéril que chez ces jeunes mathématiciens

qui, selon leur tendance, ne se regardent pas comme satisfaits s'ils ne peuvent résoudre un problème ou bien seulement par le calcul, ou bien seulement par la géométrie. Dans la lutte incessante que nous poursuivons depuis tant de milliers d'années pour conquérir sur la Nature un domaine sans cesse plus vaste et plus varié, nous ne sommes pas tellement forts que nous puissions renoncer à l'une quelconque de nos armes. Par tous les moyens possibles, nous devons avancer et nous pouvons être assurés que, sur tous les chemins, nous trouverons de la Richesse et de la Beauté.

JEAN PERRIN,
Professeur à la Sorbonne.

GÉOLOGIE

LE BUT ET LES PROBLÈMES DE LA GÉOLOGIE

LA NOTION DE FACIÈS ET LES MÉTHODES EN STRATIGRAPHIE

Il serait assurément banal de rappeler ici les raisons qui ont permis aux géologues de démontrer que la majeure partie des matériaux qui forment la croûte terrestre sont d'anciens *sédiments*, généralement déposés au sein des eaux des océans ou de leurs dépendances continentales (mers ou lagunes) et ayant subi, postérieurement à leur dépôt, des modifications plus ou moins profondes qui les ont amenés à leur état actuel de *roches sédimentaires*, constitutives des couches géologiques. La préoccupation habituelle des géologues est de reconnaître, parmi celles-ci, tous les terrains d'un *même âge géologique*, c'est-à-dire ceux qui se sont formés simultanément, quelles que soient les conditions de leur formation et la nature des matériaux qui les constituent; ceux-ci peuvent être, suivant le cas, des sables, des argiles, des calcaires, parfois des roches moins fréquentes, telles que du gypse ou du sel gemme. Enfin, tout le monde sait actuellement que c'est la découverte d'anciens

êtres plus ou moins bien conservés, animaux ou végétaux *fossiles*, qui a permis, pour la plupart de ces terrains, de déterminer leur âge géologique.

Ce sont donc les caractères fournis par les fossiles, ou *caractères paléontologiques*, qui prédominent pour la délimitation des divisions géologiques, et non les *variations lithologiques* ou *pétrographiques* des dépôts, qui n'interviennent que comme caractère de second ordre et pour servir à l'établissement de divisions locales.

D'autre part, tous ceux qui ont eu l'occasion d'observer les terrains des régions de montagnes, des Alpes ou des Pyrénées par exemple, ont pu constater que la régularité d'allure des anciens sédiments, si caractéristique pour les couches qu'exposent à nos yeux les carrières ou les tranchées des environs de Paris, ne s'y rencontre guère ; elle a été profondément troublée, dans les régions montagneuses, par des contournements, des plissements et autres dislocations plus complexes, dont l'étude est du plus haut intérêt pour la connaissance de l'évolution dynamique de notre globe et qui traduisent l'effet de compressions tangentielles formidables.

Une semblable disposition des couches dans une région de faible relief actuel, la Bretagne ou l'Ardenne par exemple, est même devenue, pour les géologues, l'indice certain de l'existence, en ces régions, d'une ancienne chaîne aujourd'hui rasée ; en sorte que, dans le langage géologique, le terme de *zone plissée de l'écorce terrestre* est devenu synonyme de celui de *chaîne de montagnes*, actuelle ou ancienne. Dans ces régions les relations de position originelles ou *strat*

graphiques des couches, conséquence directe et indice habituel de leurs relations d'âge, ont pu être rendues presque méconnaissables, à moins d'une étude très attentive de leur allure géométrique présente ; elles peuvent même parfois se trouver localement inversées dans leurs relations *tectoniques* actuelles. Tandis que normalement une couche superposée à une autre doit être présumée de formation plus récente que celle-ci, certaines superpositions anormales, fréquentes dans les régions en question et dues aux *phénomènes de charriage*, qui représentent l'effet le plus extraordinaire des poussées tangentielles, peuvent amener, sur de grandes étendues, des couches plus anciennes à reposer sur de plus récentes qu'elles.

Je ne m'attarderai pas à discuter ici les méthodes d'observation qui permettent de déterminer les relations mutuelles de position des diverses couches qui se rencontrent au voisinage les unes des autres. Il s'agit là de problèmes de géométrie dans l'espace, en général très simples et pour la solution desquels la considération des intersections de la surface topographique par les surfaces de séparation des diverses couches joue un rôle capital. Les tracés de la projection horizontale de ces intersections sur la carte topographique constituent les *contours géologiques*, et, lorsqu'ils ont été relevés avec soin sur une carte suffisamment précise, il est possible de déduire de leur connaissance l'allure géométrique des couches. C'est la solution de ces problèmes, purement géométriques et avec lesquels les géologues devraient tous être familiers, qui permet seule d'établir les *coupes* par lesquelles s'expriment

schématiquement les relations des couches les unes par rapport aux autres.

I

La structure et la composition chimique et minéralogique des matériaux qui forment la croûte terrestre ; les restes des êtres fossiles de toute nature que renferment les anciens sédiments ; les relations stratigraphiques originelles de ces dépôts ; les déformations qui les ont affectés ultérieurement et les relations tectoniques anormales qu'ils présentent actuellement les uns par rapport aux autres, constituent quatre ordres de documents que le géologue doit utiliser à la façon dont l'historien utilise les monuments, les monnaies et les médailles, les documents écrits et les traditions de toute nature.

L'étude propre de ces divers ordres de documents : pétrographiques, paléontologiques, stratigraphiques et tectoniques, est certes déjà fort intéressante en elle-même. Elle constitue autant de branches distinctes de la science géologique ou, plus exactement, autant de *sciences auxiliaires de la géologie*, au sens des sciences auxiliaires de l'histoire, si nécessaires à l'historien digne de ce nom. Mais, de même que le but final de celui-ci ne peut être la simple étude des documents qu'il doit mettre en œuvre, si intéressante que soit d'ailleurs cette étude pour elle-même, de même le but final du géologue ne doit pas être la seule étude des documents et des faits géologiques de toute nature.

Le but de la Géologie doit être *la connaissance de la double évolution, physique et organique, qui*

s'est poursuivie dans la profondeur et à la surface de la croûte terrestre, depuis les temps les plus anciens, et des relations qui lient étroitement l'une à l'autre ces deux évolutions simultanées. Nous serons donc amenés, comme terme de nos études, à chercher à reconstituer aussi exactement que possible, pour les époques géologiques successives, les conditions géographiques anciennes ou *paléogéographiques*. Sous ce terme, nous ne comprendrons d'ailleurs pas seulement le tracé des anciens rivages qui délimitaient les continents et les mers et océans de chaque époque, même en complétant ce tracé par celui des masses d'eau continentales, lagunes, lacs et cours d'eau, toutes les fois que cela sera possible. Ces tracés, qui sont ceux que de Lapparent avait cherché à établir pour les diverses époques anciennes dans ses cartes paléogéographiques, même en les considérant comme aussi exacts que possible, ne constituent qu'une partie de la question que nous chercherons à résoudre.

Nous devrons chercher à acquérir, pour les périodes géologiques anciennes, toutes les données possibles sur les diverses questions qui, pour l'époque actuelle, constituent le domaine de la géographie physique et de la géographie biologique. Nous devrons, par exemple, nous préoccuper des conditions de profondeur, de température, de salure, de la distribution des courants, etc., pour les mers et les océans ; de la répartition corrélative des êtres au sein de leurs eaux, et de leurs adaptations aux multiples conditions d'existence qu'ils pouvaient y rencontrer. Pour les continents, nous n'aurons généralement que des documents bien moins précis,

sauf pour les époques géologiques les plus récentes ; nous devrons néanmoins chercher à déterminer leurs conditions orographiques et climatériques anciennes, en relation évidente avec la répartition des animaux terrestres et des végétaux à leur surface ; la connaissance des faunes limniques (ou lacustres) et fluviatiles nous sera évidemment aussi d'un utile secours à cet égard. L'existence de dépôts d'estuaires ou lagunaires nous fournira des données sur les conditions dans lesquelles se présentaient les rivages de l'époque considérée.

II

Il est du plus haut intérêt de se livrer à la comparaison des *cartes géologiques* successives par lesquelles les géologues ont traduit, aux diverses phases de l'évolution de leur science, l'état correspondant de leurs connaissances sur les différentes contrées du globe. Cette comparaison rend éclatante l'évolution des préoccupations dominantes des géologues aux diverses époques.

Nous avons vu qu'actuellement — et cela déjà depuis la seconde partie du siècle dernier — leurs efforts tendent à établir, avec le plus de précision possible et par le moyen des caractères paléontologiques, le *synchronisme géologique* des assises de même âge en toutes les régions du globe et à y suivre ces assises contemporaines, malgré toutes les variations locales que leurs caractères pétrographiques sont susceptibles de présenter.

Cela se traduit, sur les cartes géologiques par le fait que les terrains d'un même âge y son

habituellement représentés sous une même teinte. Les subdivisions locales qu'y peuvent faire établir les variations pétrographiques ne sont indiquées que dans des cartes de détail et, le plus souvent, seulement par des pointillés ou des barrés de diverses natures, peu apparents au premier abord, car ils sont superposés à la teinte générale qui correspond à l'âge géologique.

Si, dans la pratique, on ne se conforme pas toujours à cette règle, c'est que, dans certaines cartes, on a voulu mettre en évidence tels détails de structure ou de composition du sous-sol qui ressortent mieux de la distinction des grandes masses lithologiques, par exemple s'il s'agit de cartes surtout destinées aux agronomes ; ou bien encore, s'il s'agit de cartes géologiques ordinaires, c'est que la distinction des étages géologiques y a été impossible ou trop incertaine, en raison de l'absence ou de la trop grande rareté des fossiles, et qu'alors les caractères pétrographiques permettent seuls de faire des subdivisions entre les diverses couches superposées.

Mais il n'en a pas toujours été ainsi, et les premières cartes géologiques n'étaient véritablement que des cartes purement minéralogiques ou pétrographiques ; c'est d'ailleurs encore actuellement le cas pour celles qui sont établies par des observateurs non paléontologistes ou pour les esquisses relevées dans une région nouvelle, au cours d'une première exploration. Mais, tandis que les géologues actuels, lorsqu'ils sont ligés de se contenter de pareilles esquisses, rent qu'elles ne représentent qu'une première proximation et qu'ils apportent tous leurs

efforts à préciser ensuite l'âge géologique des couches et à substituer cette notion d'âge à celle de nature lithologique, les géologues de la fin du XVIIIe siècle et du début du XIXe se contentaient de décrire les caractères pétrographiques des couches successives, d'en déterminer les relations habituelles de superposition et d'étudier sommairement l'extension de leurs affleurements.

Pour exposer rapidement l'histoire de l'évolution très marquée que traduit ce contraste entre l'état actuel et l'état ancien des préoccupations des géologues à cet égard, nous ne pouvons mieux faire que de suivre simplement M. Haug, dans son remarquable *Traité de géologie*, déjà classique avant même que d'être achevé. Nous y verrons que c'est à l'Anglais William Smith que revient le mérite d'avoir reconnu et exposé, dans un ouvrage publié à Londres en 1813-1815, le rôle important joué par les fossiles, en établissant que chacune des assises qu'il avait distinguées dans la série des terrains sédimentaires de la Grande-Bretagne était caractérisée par des espèces propres d'organismes fossiles. Il montrait, en même temps, que la plupart de ces assises (auxquelles il avait d'ailleurs donné des noms tirés généralement de leurs caractères pétrographiques) se retrouvaient avec les mêmes caractères lithologiques et paléontologiques, du sud au nord de l'Angleterre.

Depuis lors, les explorations de nombreux géologues ont montré que certains terrains s'étendent sur des surfaces considérables sans changements pétrographiques ou paléontologiques appréciables. D'autre part, les sondages effectués dans

les Océans au cours des grandes explorations marines du XIXe siècle ont mis en évidence l'énorme étendue horizontale de certains dépôts présentant des caractères biologiques et lithologiques sensiblement constants.

Pourtant, si nous continuons à suivre M. Haug dans son Historique, nous apprenons que, dès 1821, le grand géologue français Alexandre Brongniart avait annoncé que les mêmes fossiles peuvent parfois se rencontrer dans des roches de nature minéralogique bien différente. Il affirmait, en particulier, que les calcaires noirs des Fiz, en Savoie, renferment les mêmes organismes que la craie chloritée de Rouen, et il en tirait la conclusion que ces couches, bien que si différentes par leur aspect extérieur, sont pourtant contemporaines.

Un peu plus tard, le géologue soleurois Gressly faisait la même constatation pour les couches jurassiques de son pays. En 1838, il écrivait : « Je suis parvenu à reconnaître, dans la dimension horizontale de chaque terrain, des modifications diverses, bien déterminées, qui offrent des particularités constantes dans leur constitution pétrographique aussi bien que dans les caractères paléontologiques de l'ensemble de leurs fossiles, et qui sont assujetties à des lois propres et peu variables. » Il désigna ces modifications diverses, que peuvent présenter les couches de même âge en des localités différentes, sous le nom de *faciès ou aspects de terrain.*

Cette notion de faciès fut ensuite précisée par
pel, dans ses études classiques sur la forma-
n jurassique; par Waagen, également à propos
Jurassique de Franconie, de Souabe et de

Suisse ; par Neumayr, dans son grand ouvrage fondamental *Erdgeschichte*, qui a si puissamment contribué à populariser la connaissance des lois de la géologie. Mojsisovics en fit connaître, en 1879, des exemples remarquables dans les variations si curieuses que présente le Trias alpin dans la région des Dolomies du Tyrol et de la Vénétie, et l'on peut dire, sans continuer à citer des noms parce que la liste en serait trop longue, que tous les géologues qui ont récemment étudié la stratigraphie d'une région tant soit peu étendue, ont généralisé la connaissance de l'existence de ces modifications latérales de leurs caractères pétrographiques et paléontologiques, que montrent les couches de même âge lorsqu'on les étudie en des localités variées. Ces modifications sont parfois très rapides, ou même elles apparaissent brusquement entre deux localités extrêmement rapprochées ; dans d'autres cas, elles ne se font sentir que très lentement ; mais elles ne font jamais défaut, lorsqu'on soumet les couches à une étude attentive et qu'on les suit sur une étendue suffisante.

Ces études nombreuses n'ont d'ailleurs pas conduit à modifier sensiblement la définition originelle du faciès géologique qu'avait donnée Gressly ; il suffit, pour s'en convaincre, de reproduire ici celle qu'en donne M. Haug, pour qui le faciès est *la somme des caractères lithologiques et paléontologiques que présente un dépôt en un point déterminé.*

Cette définition n'a évidemment pas et ne peut avoir la rigueur et la précision d'une définitic mathématique ; elle est manifestement susceptible d'être élargie ou rétrécie à volonté. Pa

exemple, en ce qui concerne l'appréciation des caractères paléontologiques caractéristiques d'un faciès déterminé, on peut évidemment l'interpréter de deux façons très différentes. On peut lui attribuer une signification correspondant aux termes mêmes de la définition de Gressly, « les caractères paléontologiques de l'ensemble de leurs fossiles », c'est-à-dire ne faire intervenir que les caractères *généraux* de la faune (ou de la flore, s'il s'agit de couches riches en Végétaux), en tant que ces caractères permettent de conclure à la nature des conditions biologiques du milieu où se sont formés les dépôts considérés. On peut, aussi, à l'inverse, descendre, dans l'appréciation des caractères paléontologiques, jusqu'à la considération de certaines formes, génériques ou même spécifiques, les plus caractéristiques de cette faune ou de cette flore. De même, pour les caractères lithologiques ou pétrographiques, on pourra s'en tenir à l'indication de la composition générale de la roche (calcaire, argile, sable, etc.), ou bien indiquer, avec précision, telle particularité de composition, de structure, de coloration, etc., qui paraîtra intéressante (calcaire oolithique, calcaire dolomitique, argile bariolée, sable quartzeux, etc.).

Il est bien évident que, suivant le but qu'on se proposera ou le degré de précision auquel on voudra atteindre, on caractérisera les faciès des couches de façon différente. C'est ainsi qu'il sera intéressant, dans une étude de détail des couches tertiaires des environs de Paris, de distinguer et caractériser, dans les assises lutétiennes, un :ièS de *calcaire à Nummulites*, un autre de *lcaire à Miliolites*, un troisième de *calcaire*

grossier à Cérithes, puis un faciès de « *caillasses* » *à faune saumâtre*, avec intercalation du faciès spécial du *banc vert*, et, même, on pourra faire plus de subdivisions de faciès encore, soit au point de vue pétrographique, soit par les caractères paléontologiques. Par contre, dans une étude plus générale, où l'on se préoccupera surtout de reconnaître l'emplacement des anciennes mers, il pourra suffire de grouper tous ces faciès en deux, l'un *marin*, l'autre *saumâtre*, succédant l'un à l'autre.

D'ailleurs, lorsqu'on se préoccupe surtout *de l'origine et du mode de formation des sédiments anciens* qui ont donné naissance aux couches géologiques des divers âges, plutôt que de leur nature précise ou de la composition détaillée de leur faune et de leur flore, on remplace souvent le terme de faciès par celui de *formation*, qui possède un sens plus général (Haug, *loc. cit.*, I, p. 145). On peut faire usage de ce terme de formation pour réunir dans une même catégorie les dépôts de faciès différents, mais formés dans des conditions analogues. C'est ainsi que, dans l'exemple précédent, le Lutétien des environs de Paris pourra être indiqué comme constitué par *une formation marine*, suivie d'*une formation saumâtre*. De même, les argiles bariolées, les masses de gypse saccharoïde et d'anhydrite, celles de sel gemme, qui sont si abondantes dans le Trias de certaines régions ; les marnes et argiles de couleur variée du Tertiaire parisien, qui alternent avec des bancs de gypse montrant diverses structures (grenue, en pied d'alouet en fer de lance) dans les carrières d'Argenteu quoique d'un tout autre âge que les précédent

sont autant d'exemples de faciès différents pouvant être groupés sous le terme générique de *formations lagunaires* (des lagunes d'évaporation).

Il faut, en outre, remarquer — et ceci montre à quel point, dans le langage courant des géologues, le terme de faciès est susceptible d'une large extension aussi bien que d'une étroite précision — qu'en parlant des régions où le Trias est principalement caractérisé par le développement qu'y prennent les formations lagunaires précédemment indiquées et aussi d'autres formations, à caractère très littoral, constituées par des roches détritiques grossières, les géologues disent couramment que le Trias y présente *le faciès germanique*, par opposition au *faciès alpin*, dans lequel le Trias est caractérisé par le développement presque exclusif de formations calcaires variées, mais toutes d'origine franchement marine et souvent récifale[1]. Dans ce cas, le terme de faciès est donc employé dans un sens plus large que celui de formation ; il serait alors préférable d'adopter un autre terme, celui de *type* par exemple.

Avant d'aller plus loin, nous pouvons nous demander si les paléontologistes ont la même conception du faciès que les géologues proprement dits. Pour cela, nous allons nous adresser au Traité classique du regretté Félix Bernard, venu à la Paléontologie par la voie de la Zoologie et non par celle de la Géologie. A la page 52 de

1 Ce n'est qu'au milieu du Trias du type germanique que l'on rencontre des calcaires, analogues à certains d'entre ceux du type alpin, et encore ces calcaires n'existent-ils pas de façon constante.

ce traité, nous trouvons une « Définition du faciès » que je crois devoir citer en entier, malgré sa longueur : « On appelle *faciès* l'ensemble des caractères lithologiques et paléontologiques résultant des conditions extérieures qui déterminent l'existence d'une faune ou d'une flore spéciale pour une région déterminée. » Avant d'aller plus loin, je crois devoir faire remarquer que cette définition s'appliquerait mieux aux formations de l'époque actuelle, en remplaçant le mot « paléontologiques » par « fauniques (ou floristiques, suivant le cas) », et que, pour la transporter à la géologie, il serait utile d'ajouter, à la fin de cette définition, le complément suivant : « à un moment déterminé de l'histoire géologique » ou tout autre équivalent. Reprenons notre citation : « Ces caractères sont définis par les conditions de milieu, telles que le climat, l'altitude ou la profondeur bathymétrique, la nature géologique ou chimique du milieu. On peut ajouter encore des facteurs indirects qui se rattachent aux précédents. En vertu des lois de la lutte pour la vie, les variations de chaque être vivant dépendent, dans une certaine mesure, de la nature de l'ensemble des êtres qui vivent côte à côte avec lui ; les caractères généraux de la faune ou de la flore d'une région influent donc sur les conditions d'existence de chacun des êtres qui la composent, de sorte que les différences qui, par suite de l'action du milieu, ont apparu à un faible degré chez les ancêtres s'accusent de plus en plus par suite des réactions biologiques qui s'exercent entre les êtres.

« On trouvera, par exemple, pour une même époque, un faciès littoral, pélagique, d'eau douce,

d'estuaire, de lagune, corallien ; on pourra trouver aussi un faciès arctique, tempéré, tropical, etc. »

Les conditions biologiques tiennent évidemment dans le contexte, sinon dans le texte même, de cette définition du faciès, une plus large place que dans les définitions données par les géologues; mais, dans l'ensemble, elle concorde très nettement avec celle de M. Haug, quoique les exemples de faciès cités par Bernard correspondent plutôt à des formations, au sens de Haug.

Nous devons donc retenir, de ces définitions, que *le faciès d'une couche géologique donnée, en une localité déterminée, n'est caractérisé complètement que par l'association de caractères pétrographiques et paléontologiques* suffisants pour donner une idée, aussi complète que possible, de la composition chimique et minéralogique et de la structure de la roche qui la constitue, ainsi que des conditions dans lesquelles celle-ci s'est formée et dans lesquelles vivaient les êtres dont on retrouve les traces, à l'état fossile, dans cette couche.

Les caractères pétrographiques ne manquent jamais : l'observation sur le terrain, complétée, si cela est nécessaire, par une étude de laboratoire faite d'après les procédés que la chimie et l'optique (appliquée à l'étude microscopique des roches taillées en lames minces) mettent à notre disposition, suffisent pour déterminer ces caractères avec autant de précision qu'il est nécessaire. Mais il n'en est malheureusement pas toujours de même pour les caractères paléontologiques : les fossiles sont trop souvent absents, ou trop

rares, ou en trop mauvais état de conservation, pour nous donner des renseignements, ou bien ceux-ci restent trop incertains. C'est là la lacune habituelle, souvent inévitable, de beaucoup de définitions de faciès, qui sont trop fréquemment fondées uniquement sur les caractères lithologiques; si ceux-ci peuvent suffire, dans certains cas, pour donner une idée à peu près précise des conditions dans lesquelles les couches en question se sont formées, par exemple dans le cas de dépôts de sel gemme ou de gypse, il est loin d'en être habituellement ainsi.

Un sable fluviatile ressemble beaucoup à un sable marin, surtout s'il est formé des mêmes matériaux, non arrivés jusqu'à la mer, et, lorsqu'il aura été cimenté ultérieurement en un grès, la distinction du grès d'eau douce et du grès marin ne pourra se faire avec certitude que par la faune qu'ils peuvent renfermer. L'argile plastique des environs de Paris, dont la faune indique qu'elle s'est déposée dans des eaux à peu près, sinon entièrement, dépourvues de salure, ressemble beaucoup à bien des argiles de formation marine et même à certaines d'entre celles-ci dont la faune démontre qu'elles se sont formées sous de grandes profondeurs d'eau.

Il est donc nécessaire de préciser d'abord, le plus exactement possible, les faciès des couches qu'on étudie, quitte à les grouper ensuite en *grands faciès* ou *formations*, ayant une signification plus compréhensive et établis principalement sur les conditions de profondeur, de température, de salure, etc. des eaux dans lesquell se sont formés les sédiments qui sont aujou d'hui transformés en roches sédimentaires.

faut aussi, à cet égard, ne pas confondre l'*état actuel de la roche* avec l'*état initial du sédiment* qui lui a donné naissance, et essayer de reconstituer le faciès originel de celui-ci, malgré toute la série des modifications, d'ordre mécanique, physique ou chimique, qu'il a subies postérieurement à son dépôt.

C'est là une question qu'il serait intéressant de traiter avec un certain détail, si la place nécessaire ne me faisait ici défaut[1]. Je rappellerai seulement que les anciens sédiments ont généralement subi une sorte de *fossilisation,* allant jusqu'au degré plus avancé du *métamorphisme*, et que leur état actuel permet, assez souvent d'avoir une opinion approximative sur leur ancienneté d'après leur examen lithologique. Il importe d'ailleurs de bien se pénétrer de cette idée que, si le géologue est souvent ainsi amené à dire que les roches qui constituent telle ou telle couche ont un « *faciès ancien* » ou « *un faciès récent* » et si la découverte ultérieure de fossiles confirme fréquemment cette présomption, elle l'a souvent aussi infirmée. Il ne peut donc s'agir, en aucune façon, d'une *méthode de détermination* de l'âge des couches par leur degré plus ou moins avancé de transformation ou de métamorphisme, qui conduirait parfois à des erreurs grossières.

III

Maintenant que nous sommes arrivés à la conception des conditions auxquelles doit satisfaire la définition d'un faciès déterminé, nous pouvons

[1] *Revue du Mois*, n° 54, p. 683-702.

aborder l'exposé de certaines questions de méthode, tout à fait capitales pour la stratigraphie, car elles vont nous mettre en garde contre plusieurs causes d'erreur très importantes et qu'il eût été impossible de préciser sans l'intervention de la notion capitale du *faciès*.

Tout d'abord, la première question qui se pose, et qui a trait aux bases mêmes de la stratigraphie, est certainement de savoir comment, lorsqu'on se trouve en présence de couches de caractères lithologiques et paléontologiques différents, on pourra être amené à reconnaître qu'on a affaire à des couches de même âge géologique, c'est-à-dire à des *dépôts synchroniques de faciès différents*, que Mojsisovics a désignés sous le nom de *dépôts hétéropiques*, par opposition aux *dépôts isopiques*, formés de *couches de même âge et de même faciès*. C'est évidemment l'un des problèmes les plus importants, mais en même temps l'un des plus difficiles, de la stratigraphie, que de reconnaître et de suivre les divers horizons géologiques au travers de leurs multiples modifications de faciès, qu'ils soient, par exemple, sableux, calcaires ou argileux, littoraux ou de mer profonde, ou bien encore saumâtres ou d'eau douce.

C'est ainsi que la méconnaissance du synchronisme des dépôts hétéropiques de la fin du Jurassique avait conduit Hébert, malgré toute la sagacité dont il avait fait preuve en maintes autres circonstances, à une conception tout à fait erronée de la limite des terrains jurassiques et crétacés. Il avait été amené à supposer que les régions méridionales de l'Europe centrale, par exemple notre Bassin du Rhône, avaient été

émergées durant la fin des temps jurassiques, au Portlandien, alors que justement ces régions font partie de la grande aire mésogéenne, où l'on sait actuellement qu'au contraire la sédimentation a été continue du Jurassique au Crétacé et que leur continuité s'établit par l'intermédiaire de dépôts franchement marins et même souvent d'un caractère relativement profond.

Lorsque Oppel eut décrit, en 1865, le *Tithonique*, en le considérant comme un faciès hétéropique du *Portlandien* du Bassin de Paris et des autres régions situées au nord de la zone où il se rencontre, Hébert entreprit de nouvelles recherches dans les Cévennes et les Alpes, et il se rendit jusqu'en Moravie, afin d'étudier par lui-même les assises rapportées à ce nouveau système. Mais ses conclusions furent toutes différentes de celles du savant allemand. Hébert était, en effet, peu partisan des différents faciès qu'on découvrait successivement dans les couches secondaires et au moyen desquels, ainsi que nous le reverrons plus loin, on avait combattu très vivement l'unité d'âge qu'il attribuait aux formations coralligènes du Jurassique supérieur, formations qu'il considérait, à la suite de d'Orbigny, comme un étage Corallien d'âge bien défini. Aussi admit-il que les formations de récifs coralliens qu'Oppel avait considérées comme contemporaines des assises tithoniques avaient, au contraire, servi de rivage à la mer où s'étaient déposées celles-ci, et que, d'autre part, ces dernières assises constituaient un étage nouveau, n'ayant aucun représentant dans les régions plus septentrionales et qu'il rattachait à la base du Crétacé, en le désignant sous le nom d'*Infra-*

néocomien. Cette manière de voir souleva une violente polémique, qui eut l'heureux résultat de provoquer un grand nombre de travaux sur ce sujet, travaux qui s'étendirent jusqu'à la Russie, où une question semblable se posait pour certains dépôts, dits *volgiens*. De tous ces travaux, M. Haug a pu conclure, sans plus soulever de protestations, au synchronisme des dépôts portlandiens, tithoniques et volgiens, qui représentent donc des faciès hétéropiques d'un même étage géologique.

Il est d'autant plus curieux que Hébert ait mis une telle ténacité à se refuser à admettre ces changements de faciès dans la série jurassique, qu'il avait été l'un des premiers à établir leur existence dans les couches tertiaires des environs de Paris. Dès 1860, il avait démontré rigoureusement que les calcaires lacustres de Champigny se sont déposés en même temps et au même niveau que les gypses de Romainville, de Bagnolet et de Montmartre. Il avait démontré également, avec beaucoup d'exactitude et de précision, qu'à l'époque où des eaux saumâtres, contenues dans des lagunes en communication avec la mer, déposaient les assises du calcaire grossier supérieur des environs de Paris, il existait un lac de très grande étendue, qui s'étendait sur les environs de Provins et dans lequel vivait une faune essentiellement d'eau douce, où se sont déposés des calcaires contemporains de ces dernières assises du Lutétien.

Sans entrer dans des détails précis, dont l'exposé dépasserait le cadre de cet article, nou devons cependant nous demander sur quel cr terium nous pourrons nous appuyer pour recor

naître et démontrer le synchronisme des dépôts hétéropiques.

Le plus souvent, c'est par leurs caractères pétrographiques, qui pourront être entièrement dissemblables, que ces dépôts différeront le plus essentiellement les uns des autres, tandis que, s'ils appartiennent à une même formation, s'ils sont tous, par exemple, d'origine franchement marine, leurs caractères paléontologiques ne seront généralement pas aussi différents. Parmi les fossiles que nous trouvons dans les divers dépôts marins contemporains, un certain nombre seront généralement communs à plusieurs d'entre eux et permettront donc de les synchroniser. Mais les autres fossiles, qui seront d'ailleurs parfois les plus abondants, seront essentiellement variables de l'un à l'autre de ces dépôts et, par suite, caractéristiques du faciès des couches dans lesquels ils se rencontrent. Leur distribution dans les diverses formations contemporaines sera liée aux conditions d'habitat (thermiques, bathymétriques, etc.) qui correspondent à chaque faciès.

La plupart des êtres fixés et une grande partie de ceux qui, quoique libres, vivent sédentaires sur le fond, c'est-à-dire de ceux qui forment le *benthos* des biologistes, sont évidemment dans ce cas ; tout changement un peu important dans le faciès lithologique des sédiments ou dans la profondeur à laquelle se formaient ceux-ci a dû ıener une modification corrélative dans les ·es de cette catégorie qui se rencontrent dans ȝ dépôts correspondants, où ils sont associés ıx débris des êtres ayant vécu à la surface et

dont les cadavres, en tombant sur le fond, se sont ainsi mélangés à ceux des êtres ayant vécu *in situ*, dont les restes prédominent généralement dans la faune des anciens dépôts. Chacun sait, en effet, que la faune d'un fond rocheux n'est pas la même que celle qui habite les fonds sableux voisins, et que celle qui peuple les fonds vaseux est encore différente ; de même, on sait que la faune actuelle des fonds de même nature se modifie d'une façon très appréciable lorsque varie la profondeur à laquelle ils se trouvent.

Les fossiles de cette catégorie seront très précieux pour nous lorsque nous chercherons à déterminer les conditions biologiques correspondant à chacun des faciès que nous aurons à envisager, du moins s'il s'agit de formes assez voisines de types actuellement vivants pour que, par analogie, nous puissions en induire leur gènre de vie. Mais, du fait même de leur liaison à un faciès déterminé, lorsque celui-ci correspond à des conditions de vie très spéciales et s'il s'est perpétué, en une même localité, durant plusieurs périodes géologiques consécutives (qui pourront n'être que des horizons ou des zones, mais deviendront parfois des étages), ces formes seront alors souvent restées les mêmes ou n'auront subi que des variations insignifiantes.

Aussi, ces fossiles, qui seront de *bons fossiles pour la recherche des conditions qui ont présidé à la formation du faciès où on les rencontre* (ce que nous pourrons indiquer d'une façon abrégée en les appelant *fossiles caractéristiques du faciès* ou, plus simplement, *fossiles de faciès*), seront par contre, d'une valeur à peu près nulle pour la recherche ou la démonstration du synchronisme

précis des couches à faciès hétéropiques. En d'autres termes, ce seront donc de *mauvais fossiles stratigraphiques*, car ils ne pourront servir qu'à l'établissement de divisions stratigraphiques propres aux faciès dans lesquels ils sont localisés. Ce sera le cas pour les formes lacustres ou pour les Végétaux, par exemple, et les coupures ainsi établies ne seront pas parallélisables, du moins par les seules considérations paléontologiques, avec celles des formations marines de même âge, sur lesquelles les géologues cherchent toujours à fonder leurs divisions stratigraphiques. Il importe d'ailleurs de remarquer, dès maintenant, que, pour certains faciès marins très spéciaux, le faciès corallien, par exemple, lorsqu'on cherchera à appliquer les fossiles en question à la détermination de l'âge des couches de ce seul faciès, on ne pourra conclure qu'à un synchronisme *approximatif;* nous verrons même, dans un instant, que celui ci pourra parfois se trouver entièrement infirmé par d'autres considérations.

Par contre, ainsi que nous l'avons vu précédemment, d'autres formes fossiles se rencontrent dans beaucoup de dépôts marins de même âge, et cela quel que soit leur faciès lithologique ou bien en des points très distants. Ce sont naturellement surtout les êtres nageurs, ou simplement libres et flotteurs (c'est-à-dire du *nekton* et du *plankton* des biologistes), car ces êtres peuvent évidemment se rencontrer les mêmes de grandes distances, dans des conditions de allure et de température semblables, au-dessus de fonds où se déposent des matériaux pé-

trographiquement très différents ou dans des régions de profondeurs très dissemblables. Par suite, la faune benthonique à laquelle les restes des êtres flotteurs ou nageurs seront associés pourra correspondre à des faciès paléontologiques bien distincts. Mais il faut ajouter que certaines formes de cette faune du fond ou du benthos, qui sont susceptibles de s'adapter à des conditions biologiques très variables ou bien qui ont une vie libre, nektonique ou simplement planktonique, durant leur phase larvaire, pourront aussi avoir une aire de dissémination très grande. Ce sont donc les êtres de ces diverses catégories, ayant vécu aux différentes époques géologiques, qui seront *caractéristiques de l'âge géologique* et qui constitueront vraiment les *fossiles caractéristiques*, ce terme étant défini au point de vue de leur valeur stratigraphique ; ce sont les *bons fossiles stratigraphiques*, ainsi que les nomme M. H. Douvillé, qui permettront l'établissement des zones paléontologiques ou horizons stratigraphiques, qu'on peut suivre à de grandes distances et reconnaître dans la plupart des faciès marins différents.

A ce point de vue, les divers groupes zoologiques ont — et ont eu, aux diverses époques géologiques — une valeur très inégale ; c'est ainsi qu'à cet égard et malgré leur très grande abondance, les *Mollusques Lamellibranches* et *Gastéropodes,* qui varient rapidement avec la nature du fond et qui sont, par suite, plutôt des fossiles de faciès, ne sont guère employés pour caractériser les zones stratigraphiques ou ne l'ont été qu'à défaut de formes plus caractéristiques appartenant aux autres groupes.

D'ailleurs et indépendamment des conditions d'existence des divers groupes zoologiques et de la généralité plus ou moins grande de leur répartition, dont je viens de rappeler sommairement la répercussion sur leur valeur stratigraphique, il faut aussi faire entrer en ligne de compte un autre facteur très important : c'est la plus ou moins grande *rapidité de leur évolution.* Les formes qui ont évolué le plus vite, à un moment donné de l'histoire géologique, sont naturellement les plus aptes à servir à l'établissement des divisions stratigraphiques dans les couches déposées durant cette période, du moins lorsque leur facilité de dispersion et l'abondance des individus auront été suffisamment grandes pour en faire des fossiles caractéristiques.

Quand on suit l'histoire des divers groupes qui sont employés à cet égard, on constate que c'est durant leurs périodes de développement rapide, puis de plein épanouissement, qu'ils présentaient leur plus grande variabilité, c'est-à-dire leur plus grande valeur stratigraphique. Lorsqu'ensuite ils entrèrent dans leur phase de décadence, en ne se perpétuant plus, dès lors, que par quelques types présentant plus de longévité que les autres, ces rares formes survivantes avaient généralement perdu, en même temps, leur ancienne puissance de variation, ou celle-ci était, du moins, très atténuée, en sorte que ces groupes avaient, dès lors, perdu à peu près toute valeur stratigraphique.

Si nous passons en revue, en tenant compte de ces diverses considérations, les principaux groupes d'animaux servant de fossiles stratigra-

phiques, nous constaterons que les *Trilobites*, qui jouent le rôle capital dans la classification du Cambrien, du Silurien et du Dévonien, n'ont plus qu'une faible valeur stratigraphique dès le début du Carbonifère, bien qu'ils aient pu se perpétuer jusqu'au Permien, par des formes appartenant à une seule famille. De même, les *Céphalopodes* ne tiennent plus qu'une place très restreinte dans la faune actuelle, et cela depuis la fin des temps secondaires, alors qu'au début du Primaire pullulaient les *Nautiloïdés*, qui ne sont plus représentés, depuis la fin du Trias, que par le seul genre Nautile actuel, qui s'est perpétué, durant ce long espace de temps, sans subir de modifications bien importantes. Ces Nautiloïdés furent remplacés dans leur rôle stratigraphique par les *Ammonoïdés,* en pleine puissance de variation depuis la fin du Silurien et qui se montrent déjà bien développés dans les faciès franchement marins de la fin des temps primaires ; les Ammonites atteignirent tout leur développement, ainsi que chacun le sait, dans les mers des temps secondaires, où elles subirent un renouvellement presque complet à la limite du Trias et du Jurassique. Presque toutes les formes qui prédominaient au Trias s'étaient éteintes sans descendance, et le début du Jurassique fut marqué par un formidable épanouissement de formes nouvelles, qui disparurent, à leur tour, avec les temps secondaires, après avoir montré à diverses reprises des phénomènes de vieillissement (ou de *sénilité*) très marqués pour certains de leurs groupes et avoir vu leur importance déjà considérablement diminuée dans les assises terminales du Crétacé. De même, le

Bélemnites disparurent à la fin des temps secondaires, après y avoir présenté le développement que tout le monde leur connaît depuis le début du Jurassique.

Parmi les Vertébrés, les *Poissons* n'ont plus présenté qu'une assez faible variabilité évolutive depuis que les Poissons osseux ou Téléostéens, quoique très abondants et susceptibles de nombreuses spécialisations, eurent à peu près complètement remplacé, dans la faune ichthyologique, les Ganoïdes, types plus anciens et bien différenciés, qui ne se sont perpétués jusqu'à nos jours que par un très petit nombre de formes. Quant aux Squales ou Sélaciens, qui habitaient autrefois en grand nombre les mers de nos régions, ce sont des types assez inférieurs et qui n'ont subi que des variations assez faibles jusqu'à nos jours. Les *Batraciens* aussi sont restés très semblables les uns aux autres et tout à fait analogues aux types actuels, depuis qu'ils n'ont plus joué qu'un rôle accessoire dans la faune, à la suite de la disparition des grands Stégocéphales, si abondants à la fin des temps primaires et au Trias.

Quant aux *Reptiles*, nés vers la fin des temps primaires et très abondants durant le Secondaire, où ils se sont montrés susceptibles des adaptations les plus variées à tous les genres de vie — puisqu'on y trouve depuis des types nageurs de haute mer jusqu'à des formes géantes quadrupèdes, à régime carnivore ou herbivore, et même jusqu'à des formes volantes — ils n'ont
ɜ joué qu'un rôle insignifiant et, en même
ps, les formes persistantes sont restées très
blables à elles-mêmes à partir du début des

temps tertiaires, où ils ont été remplacés dans la faune des Vertébrés par les *Mammifères*.

Ceux-ci étaient apparus beaucoup plus tôt ; mais leur puissance de variation semble avoir sommeillé durant les temps secondaires (sauf peut-être en quelques régions encore mal connues). Ce n'est qu'à partir du début de la période tertiaire, à la suite de l'extinction presque entière de la grande faune reptilienne secondaire, qu'il y eut dans nos régions une véritable explosion de formes adaptées aux genres de vie les plus divers, formes dont les ancêtres existaient peut-être auparavant, mais sans avoir, du moins, acquis jusque-là d'importance dans la faune des régions actuellement étudiées. Comme, d'autre part, les formations terrestres connues se multiplient dans les couches tertiaires, alors qu'elles sont très rares dans les dépôts conservés des époques géologiques antérieures, les Mammifères prennent donc, à un double titre, le rôle de fossiles caractéristiques pour les temps tertiaires, jusqu'à la fin desquels ils ont continué à montrer une grande puissance de variation.

Mais, pour les dépôts marins du Tertiaire, il ne peut naturellement être question de prendre les Mammifères comme caractéristiques des divisions stratigraphiques, quoiqu'un petit nombre d'entre eux aient pu s'adapter à la vie marine. Pendant longtemps, tant que les divisions des assises tertiaires étaient établies en partant des bassins de Paris et du Sud-Est de l'Angleterre, seules régions jusqu'alors étudiées en détail par les géologues parisiens et anglais, furent les Mollusques Lamellibranches et Gastéropodes qui servirent surtout à caractériser

divisions. Mais les recherches plus récentes, qui se sont multipliées dans les régions plus méridionales et jusque dans celles qui avoisinent l'Équateur, sur tout le pourtour du globe terrestre, ont généralisé la connaissance de faciès à *Foraminifères de grande taille*. Ces êtres inférieurs, qui ont déjà servi de fossiles caractéristiques pour certaines couches du Crétacé supérieur, se sont montrés susceptibles, à la fois, d'une dispersion géographique très étendue et d'une variabilité assez grande, en sorte qu'actuellement ce sont eux qui sont employés, toutes les fois que c'est possible, pour l'établissement des divisions stratigraphiques et pour les comparaisons d'âge des couches marines tertiaires dans lesquelles ils se rencontrent.

Ce seront donc, en résumé, suivant l'âge géologique, les uns ou les autres des fossiles des groupes précédents qui auront une aire de dispersion suffisamment étendue et qui pourront se trouver simultanément assez répandus dans plusieurs faciès différents d'une même époque géologique pour servir à caractériser celle-ci. Ce sont eux qui, en effet, nous permettront de démontrer le synchronisme des couches isopiques à grande distance et aussi celui des dépôts hétéropiques. Il importe d'ailleurs de noter que, pour ces derniers, leur synchronisme pourra ne s'établir que de proche en proche, car évidemment la proportion des fossiles caractéristiques
ıtigraphiques qui leur seront communs sera
ıjours assez faible ; on sera souvent amené à
liser successivement plusieurs formes, cha-
ne d'elles n'étant commune qu'à un petit nom-

bre de faciès différant assez peu les uns des autres, ce qui permettra de démontrer d'abord le synchronisme des couches des faciès A et B, puis celui des couches des faciès B, C et D, puis celui des couches présentant des faciès D et E, etc.

La difficulté deviendra évidemment plus grande, lorsqu'il s'agira de démontrer la contemporanéité de faciès correspondant à des modes de formation très différents, par exemple d'établir que des couches marines, lagunaires, lacustres et fluviatiles sont de même âge. Il arrivera que ces faciès soient contigus et qu'ils passent l'un à l'autre de façon à peu près insensible, en sorte que la présence, dans leurs faunes, de certaines formes communes, ayant pu s'adapter à un degré de salure variable des eaux, permettra d'établir leur synchronisme ; celui-ci sera d'ailleurs confirmé par l'observation de la disposition réciproque des couches, qui se montrent alors *en continuité latérale* les unes par rapport aux autres. Mais, si l'on n'a pas les intermédiaires qui permettent de constater cette transition paléontologique ou stratigraphique, s'il s'agit, par exemple, de reconnaître directement que certaines couches franchement lacustres sont contemporaines de dépôts nettement marins, la question pourra rester insoluble, ou, du moins, sa solution ne résultera que de la rencontre de circonstances accidentelles et *extérieures aux faciès qu'il s'agit de comparer.*

Par exemple, les mêmes êtres terrestres aériens (Vertébrés, Mollusques terrestres, sectes, Végétaux terrestres, etc.) pourront av. été entraînés simultanément, par les eaux

ruissellement ou par les cours d'eau de l'époque, à la fois dans le lac et sur les rivages de la mer en question, et ils permettront ainsi, *s'il s'agit de formes dont l'âge est bien caractérisé*, d'établir le synchronisme cherché.

Je citerai encore un autre exemple, qui comporte un criterium d'une nature très différente de celle du précédent. Au lieu d'un caractère paléontologique accidentellement commun, c'est une raison d'ordre stratigraphique qui va nous servir. C'est elle qui a permis à Hébert, en 1860, ainsi que je l'ai dit précédemment, de démontrer le synchronisme du *gypse de Montmartre*, formé par sursaturation d'eaux marines, et du Ces *calcaire travertin* d'eau douce *de Champigny*. deux formations, quoique passant latéralement l'une à l'autre, ne peuvent évidemment avoir aucun autre fossile commun que ceux qui auraient été accidentellement entraînés à la fois dans les eaux sursalées ou entièrement dessalées. Cette circonstance locale faisant ici défaut, nous sommes dans le cas général où les couches à comparer sont de faciès entièrement différents, tant au point de vue pétrographique qu'au point de vue paléontologique, c'est-à-dire n'ont aucun fossile caractéristique commun et, d'autre part, ne passent pas latéralement l'une à l'autre. Le seul criterium applicable consiste alors à constater que les deux couches B et B^1 à comparer sont intercalées entre deux autres couches *identiques* A et C, dans les deux coupes observables les plus voi-
:s (fig. 1).
our que la démonstration soit rigoureuse, il
t d'ailleurs faire la preuve :

1° Que la sédimentation a été continue dans chacune des deux séries à comparer, A B C et A B^1 C, sans quoi B pourrait correspondre à une lacune de la série A B^1 C, et inversement B^1 à une lacune de la série A B C;

2° Que B et B^1 ne peuvent être considérés, en tout ou en partie, comme résultant d'une modification latérale du faciès de la partie supérieure de A ou de la partie inférieure de C, c'est-à-dire, par exemple, que B ne peut être considéré comme représentant, à la fois, la couche B^1 et une portion de la couche sus ou sous-jacente. Pour cela, il faudra évidemment que les couches A et C des deux séries soient non seulement identiques par leur faciès, c'est-à-dire lithologiquement et paléontologiquement, mais qu'elles le soient aussi par leur épaisseur, et, en outre, ce criterium n'aura de valeur démonstrative que si les deux coupes géologiques où ont été observées les deux séries A B C et A B^1 C sont relevées en des localités très voisines l'une de l'autre. Cela est d'ailleurs le cas pour l'exemple indiqué, où les couches A sont les marnes à *Pholadomya ludensis*, et les couches C, les marnes supra-gypseuses.

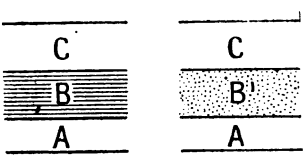


Fig. 1

La seconde des causes d'erreur que je viens de signaler peut constituer une difficulté insoluble lorsque l'identité de faciès des couches encaissantes n'est fondée que sur des caractères pétrographiques seuls, ainsi que cela a lieu dans maintes régions où les fossiles sont très rares c

même absents. Dans ce cas, on peut n'arriver jamais qu'à des *présomptions de synchronisme* pour les couches B et B^1, ainsi que pour les limites supérieure et inférieure des couches A et C, et cela découle d'une autre question d'ordre général, presque aussi importante que la précédente pour la méthode en stratigraphie et dont je vais m'occuper maintenant.

IV

Les couches de même faciès ne sont pas toujours synchroniques, c'est-à-dire isopiques; elles peuvent ne pas correspondre rigoureusement à un même âge géologique et n'être qu'*homotaxes* (Huxley) ou *équivalentes* (Haug).

Cela est évident si le faciès de ces couches

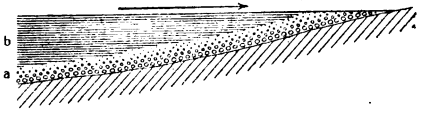


Fig. 2

a, Poudingue de base et sable. — *b*, Argile (la flèche indique le sens de la transgression marine).

n'est défini que par des caractères lithologiques, à cause de l'absence ou de l'extrême rareté des fossiles. Dans des localités différentes d'une même mer, des dépôts formés de matériaux semblables et arrangés de façon identique ont évidemment pu se faire à des époques différentes. C'est souvent le cas, par exemple, pour les dépôts de conglomérats littoraux qui se sont produits lors de l'invasion graduelle et lente d'un continent par la mer et qui, se mon-

trant partout à la base des couches transgressives (*poudingue ou conglomérat de base*), sont évidemment d'âge variable, puisque, en chaque point, leur âge est celui du moment où la transgression marine avait atteint ce point (fig. 2). Cela est d'ailleurs démontré aussi par leur passage latéral à des couches de plus en plus récentes, lorsqu'on marche dans le sens de la transgression marine.

Je ne multiplierai pas ici les exemples de cette obliquité de certains faciès pétrographiques par rapport à la stratification des couches ; pourtant j'en crois devoir encore citer un exemple particulièrement topique, parce que la démonstration de cette obliquité y est fondée sur des documents paléontologiques. Tout récemment, M. Boussac a montré qu'on doit attribuer un tel caractère aux couches qui constituent la base de la série nummulitique dans le bassin du Var, bien que ces couches revêtent un tout autre faciès pétrographique que les conglomérats de base. Le Nummulitique y débute toujours par une assise calcaire, primitivement continue et à caractères pétrographiques assez constants; or, cette assise, de Puget-Théniers à Entrevaux, renferme une faune auversienne, tandis que, plus à l'ouest, par exemple à Annot, elle contient une espèce de Nummulite caractéristique du Priabonien [1]

1. L'Auversien correspond à la partie inférieure, franchement marine, du Bartonien de Munier-Chalmas et de Lapparent, c'est-à-dire aux « sables moyens » des anciens géologues parisiens. Quant au Priabonien de M. Boussac, c'est l'équivalent des couches, à faciès principalement lagunaires, qui, dans le Bassin de Paris, forme Bartonien proprement dit, partie supérieure de l'ancien Barto de Munier-Chalmas et de Lapparent, et le Ludien tout ent c'est-à-dire toutes les masses de gypse des environs de Paris qu rencontrent au-dessous des marnes supra-gypseuses.

(fig. 3). Si, inversement, en partant de Puget-Théniers, on se dirige vers l'est ou le sud-est, en arrivant aux environs de Sospel ou de Menton, ce calcaire de base de la série nummulitique contient une faune lutétienne. De même, certaines formes de la faune des marnes bleues qui viennent au-dessus de ces calcaires montrent que leur base, qui est encore auversienne à

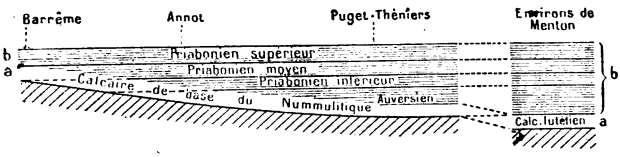


Fig. 3

a, Calcaire nummulitique, sableux à la base, d'âge variable.
b, Marnes bleues.

Puget-Théniers, est déjà du Priabonien moyen à Annot et remonte jusqu'au Priabonien supérieur à Barrême.

Dans cet exemple emprunté à M. Boussac, ce ne sont donc pas de simples raison stratigraphiques qui conduisent à admettre que la distribution des faciès pétrographiques est oblique à la superposition stratigraphique des étages : la démonstration du caractère homotaxe de ces faciès est fournie par les documents paléontologiques, du moins par une partie d'entre eux. On pourrait d'ailleurs dire, si l'on interprète le terme de faciès homotaxe d'une façon très rigoureuse, que, dans le cas présent, ces faciès de calcaire ummulitique et de marnes bleues ne sont pas goureusement homotaxes, puisque l'ensemble e leurs caractères, lithologiques et paléontoloiques, n'est pas identique. Mais nous allons

voir qu'*il existe effectivement des faciès entièrement identiques, aussi bien pétrographiquement que paléontologiquement, et qui, cependant, ne sont qu'homotaxes et non isopiques*. Cela tient à ce que, dans l'interprétation des faits de cet ordre, on ne peut pas plus attribuer une valeur absolue aux caractères paléontologiques qu'aux caractères pétrographiques, du moins sans critique préalable. Pour affirmer ou infirmer le synchronisme des couches, il faut soigneusement discuter la valeur stratigraphique des fossiles desquels on se sert et ne s'appuyer que sur ceux que j'ai précédemment désignés sous le nom de fossiles caractéristiques de l'âge géologique ou de bons fossiles stratigraphiques.

Nous avons vu, en effet, que souvent les fossiles les plus abondants, du moins dans certains faciès, sont exclusivement liés aux conditions de formation des dépôts qui les renferment et que, d'autre part, si celles-ci sont restées identiques, ces êtres ont pu persister sans variations appréciables durant plusieurs horizons ou même plusieurs étages géologiques successifs, dont l'existence est démontrée par la présence de fossiles caractéristiques stratigraphiques, qui avaient fortement varié pendant ce temps.

Mais nous savons déjà que les faciès d'eau douce et lagunaires, et même certains faciès marins très spéciaux, ne contiennent que très accidentellement des fossiles de cette seconde catégorie. Cette circonstance rendra très difficile leur détermination d'âge, c'est-à-dire la recherche de leur contemporanéité avec les faciès hétéropiques marins normaux dans lesquels ont été établis les horizons stratigraphiques classiques.

Tels sont, par exemple, parmi les divers faciès que peuvent présenter les couches marines jurassiques, celui des *formations coralliennes* (formations récifales proprement dites et cortège accessoire de calcaires oolithiques, de vases coralliennes, etc.) et des calcaires édifiés par d'autres organismes constructeurs (Spongiaires, Bryozoaires, etc.), où manquent, le plus souvent, les Ammonites sur lesquelles est fondée la subdivision des terrains jurassiques en zones stratigraphiques. Comme, d'autre part, la faune propre des formations coralliennes jurassiques reste sensiblement la même dans les diverses localités, aussi bien pour les Polypiers constructeurs des récifs que pour les autres animaux qui peuplaient ceux-ci (Echinides des genres Cidaris, Hemicidaris, Glypticus, etc.; Mollusques Lamellibranches et Gastéropodes à test très épais, tels que les Diceras, le Pachycardium corallinum, les Nérinées, etc.), les anciens géologues avaient considéré ces dépôts coralliens comme tous synchroniques et d'Orbigny les avait tous réunis dans son *Étage Corallien*.

Nous avons vu précédemment que l'individualité de cet étage a été soutenue avec acharnement par Hébert, quoique les observations allassent en se multipliant qui démontraient que, vers leurs bords, ces formations coralliennes viennent se terminer par des intercalations régulières au milieu d'assises marines à Ammonites, d'âge variable suivant les régions : le temps à autre d'ailleurs, au milieu des couches coralligènes se rencontrent des intercalations de bancs d'un caractère moins spécial et qui peuvent, par suite, renfermer des formes fossiles communes

avec les faciès non coralliens (fig. 4). Toutes ces raisons ont permis de constater avec certitude que les formations coralliennes en question commencent au sommet de l'étage Oxfordien dans le nord et le nord-est du Bassin de Paris; elles se poursuivent ensuite dans les étages plus élevés, Rauracien, Séquanien, Kimmeridgien et Portlandien, mais en s'y déplaçant graduellement vers le sud, suivant une loi régulière. Elles ont reculé au sud du « détroit de la Côte d'Or » et, après avoir

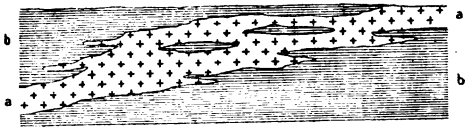


Fig. 4
a, Formations coralliennes. — *b*, Dépôts marins normaux.

quitté ainsi le Bassin de Paris, elles ont gagné des régions de plus en plus méridionales du Jura.

Malgré l'identité presque absolue de la faune de ces récifs dans les diverses localités, ils y sont donc d'âge très variable et, par suite, l'ancien étage Corallien de d'Orbigny et Hébert ne constitue plus, pour les géologues actuels, qu'un *faciès corallien homotaxe* (au sens le plus étroit de ce terme), qui peut se rencontrer à une hauteur quelconque dans les couches du Jurassique supérieur du Bassin de Paris et du Jura, ou plutôt qui s'est déplacé dans ces couches suivant une loi que je viens d'indiquer sommairemer

Il faut d'ailleurs noter que ce recul des réci vers les régions de plus en plus méridionales l'est de la France se poursuit encore au Créta

dans les régions subalpines et rhodaniennes. Mais alors, si les caractères lithologiques peuvent se retrouver les mêmes, la faune avait sensiblement évolué, et il n'est plus possible de considérer ces formations comme équivalentes de celles du Jurassique. Toutefois, pour ces faciès coralligènes du Crétacé, des questions analogues à celles du Corallien du Jurassique se sont posées et ont été finalement résolues de la même façon ; on sait actuellement que l'*Urgonien*, du Crétacé inférieur, d'abord considéré comme un étage indépendant superposé au Néocomien, n'est qu'une formation corallienne qui peut envahir inégalement les deux étages Barrémien et Aptien. De même, les couches à Hippurites, d'abord considérées comme localisées dans un seul étage, dit *Provencien*, se montrent échelonnées à des hauteurs très variables dans le Crétacé supérieur.

Ces quelques exemples suffisent à montrer que la Paléontologie peut être parfois en défaut, tout comme la Pétrographie, dans l'appréciation du synchronisme des couches de même faciès, lorsqu'il s'agit de certains faciès très spéciaux. On touche alors aux questions les plus délicates de la Stratigraphie, et l'acharnement avec lequel ces questions ont été discutées par plusieurs des géologues qui ont laissé les noms les plus illustres en cette science suffit à montrer quelle est la difficulté de ces questions.

V

ous pouvons maintenant admettre qu'après .r approfondi les considérations que je viens

d'esquisser sommairement, nous serons en possession des méthodes qui nous permettront, sauf dans certains cas particuliers tout à fait exceptionnels, de reconnaître un même horizon ou un même étage géologique au travers de ses multiples faciès hétéropiques et, aussi, de ne pas confondre des faciès simplement équivalents ou homotaxes de couches d'âges différents avec les faciès isopiques de couches contemporaines. Étant ainsi capables d'éviter, dans la mesure du possible, les erreurs stratigraphiques dont j'ai indiqué les principales causes, nous serons en mesure d'aborder les questions fondamentales de la Géologie et d'essayer de remplir le programme que j'ai assigné plus haut à cette science.

Lorsque nous saurons suivre les anciennes couches dans leurs variations de faciès hétéropiques, et même au travers de leurs changements de faciès ultérieurs, nous pourrons étudier en détail les déformations et dislocations *tectoniques* très variées, accidents d'ordre géométrique et d'origine mécanique, parfois compliquées jusqu'à devenir presque invraisemblables, qui ont souvent atteint ces anciennes couches, en même temps que les modifications chimiques et minéralogiques qu'elles ont subies et qui, à des degrés divers, constituent les phénomènes de *diagenèse* et de *métamorphisme*. Il sera intéressant de poursuivre ainsi la recherche des faciès originels jusque dans certaines régions où les anciens sédiments ont acquis une structure entièrement cristalline (*schistes cristallins*) et où ils ont mêm pu atteindre, par une refusion plus ou moins com plète suivie d'une cristallisation ultérieure, l'éta actuel du *granite* et des roches voisines.

La comparaison des régions où se sont produites ces modifications dans la disposition géométrique et la composition originelles des couches montre que ces variations coexistent souvent de telle façon qu'on doit les considérer comme corrélatives. Si cet article n'était déjà trop étendu, je montrerais que cette corrélation n'est véritablement pas une relation directe de cause à effet, ainsi qu'on l'a soutenu, mais qu'elle est le résultat de la coïncidence de deux effets, successifs ou à peu près simultanés, d'une même cause. Cette concordance tient, en effet, à ce que ces modifications ultérieures ont principalement affecté les couches qui se sont formées dans certaines aires de l'écorce terrestre, dites *aires géosynclinales* [1], dont l'importance considérable a été surtout mise en évidence par M. Haug et dont l'individualisation a été souvent très ancienne, et il est facile de démontrer que ces modifications sont la conséquence naturelle de l'existence et des caractères de ces *géosynclinaux*.

Enfin, nous pourrons chercher à atteindre le but final que j'ai assigné plus haut à la Géologie lorsque nous connaîtrons les divers faciès hétéropiques correspondant aux époques géologiques successives, si nous pouvons remonter à leurs caractères originels, aussi bien paléontologiques que pétrographiques, et si nous en connaissons bien exactement la répartition à la surface du globe. Dans la reconstitution des conditions géographiques anciennes, nous devrons évidemment partir de l'époque actuelle et, par comparaison avec les faciès des formations qui s'y

1. Voir *Revue du Mois*, n° 54, p. 705-716.

produisent, chercher à déterminer les conditions biologiques, physico-chimiques et géographiques qui ont dû motiver autrefois la production des divers faciès anciens, à la lumière de celles qui déterminent aujourd'hui l'existence de faciès aussi voisins que possible de ceux que nous aurons à interpréter.

LÉON BERTRAND,
Professeur-adjoint à la Sorbonne.

PALÉOBOTANIQUE

La paléobotanique ne saurait avoir la prétention de constituer une science autonome, ayant ses méthodes à elle : elle n'est qu'une branche de la botanique, et ne peut connaître d'autres disciplines que celles de la morphologie. Elle mérite pourtant d'être envisagée à part, à raison des conditions très spéciales qui résultent pour elle de l'état dans lequel se présentent les objets compris dans son champ d'études.

Le naturaliste qui étudie les êtres vivants se trouve en général en face d'individus complets, qui s'offrent à lui avec tous leurs organes et dont il peut examiner toutes les parties, aussi bien dans leur structure interne que dans leur forme extérieure. Que si les matériaux dont il dispose sont insuffisants, il peut toujours compter s'en procurer de meilleurs, moyennant peut-être des explorations plus ou moins lointaines, plus ou moins difficiles, pour lesquelles, s'il n'est en mesure de s'y livrer lui-même, il lui sera loisible de réclamer le concours de collecteurs étrangers ; et il attendra, pour se prononcer, d'avoir obtenu nouveaux spécimens susceptibles de l'éclairer. botaniste, par exemple, qui n'aurait entre les ins que les feuilles d'un type végétal nouveau,

s'abstiendrait vraisemblablement de lui chercher une place dans la classification jusqu'au jour où ces premiers échantillons seraient complétés par d'autres, plus significatifs au point de vue systématique, tels que des appareils floraux ou des fruits.

Le paléobotaniste n'a pas les mêmes ressources : il peut multiplier les recherches et accumuler les matériaux, sans parvenir à mettre la main sur les documents décisifs qui lui seraient nécessaires pour résoudre le problème qui l'occupe. A cet égard, et bien qu'il ne soit pas plus maître des résultats de ses fouilles, le paléozoologiste est mieux partagé : pour la plupart des groupes d'animaux, pour ceux notamment dont les restes sont les plus nombreux dans les roches sédimentaires, Mollusques, Rayonnés, Crustacés, il en retrouve généralement les coquilles ou les carapaces intactes, et leur comparaison avec les appareils similaires du monde vivant lui permet de déterminer avec certitude les relations des formes disparues avec les formes actuelles ; pour les Vertébrés mêmes, les cadavres en ont été le plus souvent enfouis tout entiers, qu'il s'agisse de Mammifères aussi bien que de Poissons ou de Reptiles, et nombreux sont les squelettes d'animaux fossiles qu'on a pu exhumer et étudier dans leur intégrité ; et encore lorsqu'on n'en retrouve que quelques ossements, est-il néanmoins possible, dans la plupart des cas, grâce aux données fournies par l'anatomie comparée, de tirer de leur examen des conclusions certaines sur les êtres auxquels ils ont appartenu.

Pour les plantes fossiles, exception faite quelques types, tels notamment que certai Algues, on ne les trouve pour ainsi dire jam

qu'à l'état de débris épars, dissociés, les divers membres d'une même plante s'étant séparés, les feuilles d'une part, les appareils floraux ou fructificateurs de l'autre, s'étant détachés de leurs supports indépendamment les uns des autres, et s'étant en outre bien souvent fragmentés, avant d'être entraînés dans les bassins de dépôt, ces supports eux-mêmes, tiges ou rameaux, ayant été enfouis à leur tour à une distance plus ou moins grande des organes qu'ils avaient portés. Dans ces conditions, c'est un problème singulièrement ardu que celui de la reconstitution des végétaux représentés par de semblables débris, les restes des appareils fructificateurs étant presque toujours beaucoup plus rares que ceux des appareils végétatifs, caulinaires ou foliaires, et l'étude de ceux-ci ne pouvant suppléer à l'absence des premiers, la connaissance de la constitution de l'appareil floral ou fructificateur faisant, comme on sait, la base essentielle de la classification botanique.

Aussi l'étude des plantes fossiles n'a-t-elle été sérieusement abordée et n'est-elle entrée dans une voie vraiment scientifique que bien longtemps après celle des fossiles animaux, les premiers essais, fort rudimentaires et imparfaits, de constitution d'un cadre dans lequel elles pourraient prendre place, ne datant que de 1820, avec les premières désignations binominales proposées par Schlotheim et par Sternberg ; et ce fut seulement un peu plus tard, en 1822, que furent établies par Adolphe Brongniart les lignes directes d'une classification réellement méthodique, qui devait ensuite se développer et se préciser peu à peu.

En principe, la voie à suivre s'impose d'elle-même : il faut comparer les restes végétaux qu'on a sous les yeux à des types déjà connus, d'attribution systématique indiscutée, peser les ressemblances et les différences, et chercher à déduire, des résultats de cette comparaison, les affinités naturelles des restes étudiés, afin de leur assigner la place qu'ils doivent occuper dans la classification. Les éléments d'appréciation fournis par les matériaux recueillis varient, d'ailleurs, suivant leur mode de conservation. Tantôt on a affaire à des débris végétaux ayant conservé leur structure interne, grâce à la pénétration de leurs tissus par des matières minérales, telles que la silice ou le carbonate de chaux; on obtient en ce cas de précieux renseignements sur leur constitution anatomique, mais alors ils sont le plus souvent noyés dans une masse pierreuse avec laquelle ils font corps et ne laissent rien voir de leurs caractères morphologiques externes. Tantôt, au contraire, la matière végétale enfouie dans les sédiments ne leur a rien emprunté, elle a subi seulement une décomposition partielle, une sorte de carbonisation, et les restes de plantes qui nous parviennent dans cet état se présentent sous la forme de lames ou de plaques charbonneuses, d'épaisseur variable suivant la nature des organes auxquels on a affaire, étalées à plat sur les lits de stratification de la roche, montrant nettement les contours de leur forme extérieure, avec les accidents les plus délicats de leur surface, mais leur structure interne est à peu près complètement oblitérée, et l'étude anatomiq en est devenue impossible ; parfois, cependa certains éléments sont restés pour ainsi dire in

terés, et l'on peut, en attaquant la masse charbonneuse par des réactifs oxydants, isoler, par exemple, soit l'épiderme, soit les spores ou les grains de pollen demeurés contenus dans les enveloppes qui les renfermaient, et tirer de leur examen d'utiles renseignements.

Tels sont, pour s'en tenir aux cas les plus habituels, les matériaux dont on dispose et dont il faut s'efforcer de tirer parti. Lorsqu'il s'agit d'organismes de petite taille ou composés de parties toutes semblables les unes aux autres, ainsi qu'il arrive notamment pour les Algues incrustantes, dont l'accumulation a formé sur certains points, presque sans mélange, et sans altération de la structure, des sédiments importants, le paléobotaniste a la partie belle : les plantes se présentent à lui presque telles qu'elles étaient à l'état vivant, et d'autant plus aisément comparables aux types actuels de la même classe que, jusqu'ici du moins, toutes celles de ces Algues qu'on a pu observer, Siphonées, Diatomées, Corallinacées, n'ont offert, par rapport aux représentants actuels de ces mêmes familles, que des différences de même ordre que celles constatées parmi ces derniers, et cela quel que soit leur âge, bien que pourtant certaines d'entre elles appartiennent aux périodes les plus anciennes de l'histoire de la terre, au Silurien ou au Cambrien.

Mais c'est là malheureusement, ainsi qu'il a déjà été dit, un cas exceptionnel, ou tout au moins fort rare, et pour les végétaux supérieurs problème est singulièrement plus difficile, à on de la complexité de leur constitution, de diversité de leurs membres et de l'absence

habituelle de connexion entre les restes de ceux-ci. Les difficultés sont, au surplus, de nature variable, dépendant, au moins dans une certaine mesure, de l'âge des échantillons qu'il s'agit d'étudier. Les débris de végétaux qui proviennent de terrains relativement récents offrent en général une ressemblance marquée avec les types actuels, et l'on est fondé à penser qu'ils proviennent de plantes alliées d'assez près à ceux-ci. Ce sont, par exemple, des feuilles détachées, qui suggèrent parfois, au premier coup d'œil, l'idée de tels ou tels des végétaux qui nous sont familiers, ou dont nous pouvons espérer trouver les similaires en compulsant les échantillons d'un herbier suffisamment complet : le problème consiste alors à rechercher, parmi toutes les feuilles de la flore vivante analogues par leur forme générale, leur mode de découpure, la disposition de leurs nervures, aux feuilles fossiles étudiées, celles qui s'en rapprochent le plus et à apprécier à leur juste valeur, avant de formuler une conclusion, les ressemblances et les différences qu'aura fait ressortir l'examen approfondi des unes et des autres. C'est là, ainsi qu'il est facile de le comprendre, une recherche délicate, exigeant de la part de celui qui s'y livre à la fois une connaissance des plus étendues de la flore actuelle et une grande sagacité d'appréciation ; et dans plus d'un cas des rectifications ont dû être apportées ultérieurement à des jugements qui avaient semblé tout d'abord des mieux motivés.

Lorsqu'il s'agit, au contraire, de végétaux anciens, de ceux notamment de la péri[illegible] paléozoïque, on est en présence, associés les [illegible] aux autres, de types singulièrement différents [illegible]

ceux de la flore vivante, en face desquels les premiers observateurs se sont souvent trouvés déroutés, et de types qui semblent au contraire pouvoir être tout naturellement placés à côté de certains d'entre ceux que nous avons aujourd'hui sous les yeux, mais dont les ressemblances extérieures avec ces derniers peuvent être parfois quelque peu décevantes, ainsi que l'événement l'a prouvé. Quelques exemples ne seront pas inutiles pour montrer comment nos connaissances se sont perfectionnées et précisées, et de quelles difficultés on a eu à triompher.

L'un des types des flores anciennes les plus éloignés de ceux qui vivent aujourd'hui s'est présenté sous la forme de grandes feuilles rubanées, à nervures parallèles, qu'on a désignées sous le nom générique de *Cordaïtes*, et qu'on a tout d'abord attribuées à des Monocotylédones, en se fondant, il est vrai, sur des ressemblances plus superficielles que réelles ; on avait songé plus tard, mieux éclairé sur leurs véritables caractères extérieurs, à les comparer à des folioles de Cycadinées, mais sans pouvoir fixer leur véritable place. Le problème de leur attribution ne s'est finalement résolu que grâce aux persévérantes recherches de M. Grand'Eury dans le bassin de Saint-Etienne, où elles se montraient particulièrement abondantes, et où il est parvenu à réunir une incomparable série de documents permettant de reconstituer leur histoire : feuilles encore attachées aux rameaux qui les avaient portées, branches munies à la fois de feuilles et d'inflorescences mâles ou femelles, troncs debout, encore fixés par leurs racines dans le sol où ils

avaient vécu et sur lequel s'étaient accumulés les restes de leur feuillage et de leurs appareils floraux, et enfin fragments silicifiés de ces divers membres se prêtant, grâce à leur parfaite conservation, à une étude anatomique aussi complète que s'il s'agissait de plantes vivantes. La mise en œuvre de tous ces matériaux a permis, en fin de compte, à MM. Grand'Eury et Renault d'établir qu'on avait affaire là, non pas seulement à un genre spécial, mais à une classe particulière de Gymnospermes, ayant des affinités, d'une part avec les Cycadinées, d'autre part avec les Conifères, bien distincte pourtant des unes et des autres, remarquable notamment par la spécialisation et l'organisation élevée de ses appareils floraux. Par le fait, les Cordaïtées n'ont plus d'analogues dans le monde vivant et diffèrent tellement de toutes les formes actuelles, que la comparaison, avec ces dernières, de débris forcément incomplets ne pouvait suffire à faire la lumière à leur égard : la méthode comparative et inductive ne trouvait donc pas son application, et il a fallu les étudier pour elles-mêmes, abstraction faite de toutes relations avec d'autres types, après une longue et patiente accumulation de matériaux, poursuivie avec une rare sagacité et sur des gisements particulièrement riches.

Pour la plupart des autres végétaux paléozoïques, les différences par rapport aux types vivants étaient heureusement moins profondes, et la comparaison avec ceux-ci a pu faire ressortir des affinités non contestables ; elle a cependant conduit parfois à des déductions inexactes à raison de l'importance attribuée à certains caractères qui, n'ayant été observés dans le monde

actuel que chez certains groupes, avaient été considérés à tort comme significatifs au point de vue systématique, et dont la valeur relative n'a été sainement appréciée qu'après de longues discussions, à la suite d'observations définitivement convaincantes. Je veux parler notamment de la présence, dans les tiges ou les rameaux, d'un bois secondaire à développement centrifuge, tel qu'en possèdent les Gymnospermes et les Angiospermes dicotylédones et qu'elles sont aujourd'hui seules à posséder ; Brongniart et avec lui de nombreux paléobotanistes voyaient, dans l'existence de ce bois, un caractère essentiellement phanérogamique, et cette idée a donné lieu à bien des hésitations et des divergences dans l'interprétation de certains types, des plus répandus dans la flore houillère, appartenant les uns aux Equisétinées, les autres aux Lycopodinées.

De très bonne heure on avait attribué aux Equisétinées les tiges du terrain houiller désignées sous le nom de Calamites, à raison de la concordance des caractères très spéciaux qu'elles offraient avec ceux des Prêles actuelles : tiges régulièrement articulées, munies de cannelures longitudinales alternant aux nœuds, et pourvues à leur intérieur d'une grande lacune axiale interrompue à chaque articulation ; sans connaître encore ni leur structure interne ni leur appareil fructificateur, on avait jugé cette organisation générale assez caractéristique pour légitimer leur classement à côté des *Equisetum*. Un peu plus d, l'examen de tiges semblables à structure nservée y révélait un bois secondaire parfois s épais, à développement centrifuge, dont la

présence était jugée incompatible avec l'attribution aux Cryptogames vasculaires, et l'on en venait à conclure qu'il avait existé à l'époque houillère deux groupes de tiges calamitoïdes bien différents malgré leur apparente similitude, les unes herbacées, appartenant bien aux Equisétinées, les autres ligneuses, plus ou moins apparentées aux Conifères, à en juger par la constitution de leur bois. Et cependant, si l'on faisait abstraction de ce bois secondaire, ces tiges offraient, avec les *Equisetum*, une frappante identité de structure, ainsi qu'il ressortait notamment des recherches des paléobotanistes anglais, Binney, Williamson et Scott, qui tenaient pour l'attribution intégrale de tous ces Calamites aux Equisétinées : quelques épis de fructification avaient bien été trouvés, offrant eux-mêmes un bois secondaire plus ou moins développé, mais ils prêtaient encore à la discussion, les corps reproducteurs qu'ils renfermaient pouvant être interprétés à volonté ou comme des spores ou comme des grains de pollen, et laissant ainsi l'attribution indécise entre les Cryptogames et les Phanérogames. Les dernières incertitudes ont enfin disparu devant la découverte d'épis possédant un axe ligneux avec bois secondaire ou dépendant de tiges calamitoïdes munies d'un bois secondaire bien développé, et renfermant à leur intérieur deux sortes de spores, microspores et macrospores, c'est-à-dire appartenant sans doute possible à l'embranchement des Cryptogames vasculaires, et établissant ainsi qu'il s'agissait bien d'Equisétinées, mais d'Equisétinées ayant possédé un bois secondaire centrifuge.

Pour les tiges houillères de la classe des Lyco-

podinées, le problème était plus complexe, à raison de ce fait qu'on était en présence de deux types différents, les Lépidodendrons et les Sigillaires, et que, si l'attribution des uns paraissait définitive, celle des autres n'était rien moins que certaine et pouvait prêter à bien des discussions. Les Lépidodendrons, caractérisés notamment par leurs coussinets foliaires contigus, à contour rhomboïdal, par leur ramification dichotomique répétée, à rameaux ultimes ressemblant à des branches de Lycopodes, avaient été trouvés de bonne heure avec des cônes de fructification encore attachés à ces rameaux, et l'étude de ces cônes avait révélé une constitution conforme à celle des épis des Lycopodinées actuelles; l'étude d'échantillons à structure conservée et bien reconnaissables à leurs caractères extérieurs avait montré, d'autre part, les tiges de ces Lépidodendrons pourvues seulement d'un bois primaire à développement centripète et avait ainsi confirmé l'attribution du genre aux Lycopodinées. Quant aux Sigillaires, représentées par des tiges à cicatrices foliaires plus ou moins espacées, disposées en séries longitudinales bien nettes, elles n'avaient pas livré le secret de leur appareil fructificateur, mais leur structure avait pu être étudiée sur un fragment de tige silicifié, et Brongniart y avait constaté l'existence d'un bois primaire centripète entouré d'un anneau de bois secondaire centrifuge, caractère qui lui avait paru devoir faire exclure l'attribution aux Cryptogames et qui semblait de nature à autoriser un rapprochement avec les Cycadinées, les faisceaux foliaires de celles-ci possédant précisément ce caractère très particulier, d'avoir leur bois formé

de deux séries d'éléments à développement inverse, centripète d'une part et centrifuge de l'autre. Un jour vint où les paléobotanistes anglais, Williamson principalement, annoncèrent la découverte, dans des tiges de Lépidodendrons, d'un bois secondaire centrifuge semblable à celui des Sigillaires, d'où il découlait que le bois secondaire devait être considéré comme sans valeur au point de vue taxonomique, contrairement à ce qu'avaient semblé établir les observations faites sur les plantes vivantes. Mais la détermination générique des échantillons étudiés par Williamson laissait place à quelques doutes, la surface externe de ces tiges n'étant pas visible ou n'étant pas suffisamment conservée, et les paléobotanistes de l'école de Brongniart s'inscrivirent en faux contre ces conclusions, soutenant qu'il devait s'agir, avec ces échantillons, de tiges de Sigillaires, et non pas de Lépidodendrons, et persistant à voir dans ces deux genres les représentants de deux groupes bien différents. Le débat fut enfin tranché par la découverte d'un cône de Sigillaire, reconnaissable comme tel à la forme et à la disposition des cicatrices foliaires de son pédoncule, et offrant, par les macrospores qu'il renfermait, les caractères certains d'un appareil fructificateur de Cryptogame vasculaire, d'un épi de Lycopodinée hétérosporée. Peu après, d'ailleurs, de nouveaux échantillons à structure conservée étaient rencontrés, qui présentaient cette fois les caractères externes bien visibles de tiges ou de rameaux de Lépidodendrons et qui renfermaient à leur intérieur un anneau de bois secondaire centrifuge entourant le bois primaire centripète.

Il ne fallait donc voir, en fin de compte, dans l'existence de ce bois secondaire, qu'un caractère d'adaptation, en rapport avec le grand développement de ces tiges, de Lycopodinées ou d'Equisétinées, et avec la nécessité pour elles de développer corrélativement leur appareil conducteur. La méthode comparative avait été ainsi mise en défaut par l'erreur d'appréciation qu'on avait commise sur la valeur du bois secondaire en question, n'ayant pas suffisamment pris garde à certains indices de son existence chez quelques-uns des types actuels de Cryptogames vasculaires, tels notamment que les Isoétées, lesquelles semblent être, parmi les Lycopodinées du monde vivant, celles qui offrent le plus d'affinités, malgré leur taille réduite, avec les grandes Lycopodinées arborescentes de l'époque houillère.

La signification d'observations faites sur le vivant a été ainsi, par une sorte d'application inverse de la méthode comparative, précisée par les observations faites sur les fossiles, et les données fournies par la paléobotanique sont venues éclairer et compléter les connaissances botaniques.

Enfin, une combinaison de caractères plus inattendue encore que celle de l'association d'un bois secondaire avec un appareil fructificateur cryptogamique a été révélée récemment par les découvertes relatives aux frondes de la période paléozoïque dont l'attribution semblait le moins discutable, tant était frappante leur ressemblance, à tous les points de vue, avec les frondes des
igères actuelles. La concordance était telle,
s le rapport de la forme générale, du mode
découpure, ainsi que de la nervation, que

beaucoup d'entre elles avaient pu être comparées à des genres vivants et classées, du moins provisoirement, sous des noms rappelant ceux de ces derniers; l'étude anatomique de quelques fragments de pinnules n'avait révélé aucune discordance, et si les frondes fertiles étaient malheureusement trop rares, celles qu'on avait pu récolter avaient montré, en général, des organes de fructification offrant bien les caractères de sporanges de Fougères. Quelques types cependant, malgré la multiplication des documents, ne se présentaient jamais que sous la forme de frondes stériles, ce qui avait bien inspiré quelque surprise et suscité quelques doutes, mais il se pouvait que, comme chez bon nombre de Fougères vivantes, il y eût eu, entre les frondes stériles et les frondes fertiles, un dimorphisme assez accentué pour rendre impossible le rattachement des unes aux autres.

Il y a peu d'années, cependant, des pétioles à structure conservée, qu'on savait appartenir à certaines de ces Fougères et dont l'étude les avait fait juger assimilables à ceux de Fougères actuelles, furent trouvés en rapport direct avec des tiges dont la constitution différait singulièrement de celles des tiges de Fougères, et dont quelques-unes, depuis longtemps connues à l'état isolé, avaient été à peu près unanimement rapprochées des Cycadinées, offrant notamment cette particularité, observée seulement, dans le monde vivant, chez deux ou trois genres de Cycadinées, de posséder plusieurs anneaux libéroligneux successifs, ayant chacun leur bois et leur liber d'autres rappelaient, il est vrai, certaines de nc Fougères par la disposition de leurs faisceau.

de bois primaire, mais possédaient un bois secondaire rappelant, à certains égards, celui des Cycadinées.

En présence de telles associations de caractères, il eût été téméraire de conclure, et la solution provisoire proposée par M. Potonié, consistant à classer tous ces types ambigus sous le nom significatif de Cycadofilicinées, avait rencontré l'assentiment général. S'agissait-il de Fougères ayant offert, dans la structure de leurs tiges, des caractères cycadéens, et ayant, à l'instar des Lycopodinées de la même époque, possédé un double bois, ou bien était-on en présence de Cycadinées ayant eu un feuillage infiniment plus découpé que les représentants actuels de cette classe, et à apparence filicoïde ? Le problème était intéressant, et les recherches se multiplièrent : enfin, en 1903, les paléobotanistes anglais, MM. Oliver et Scott, M. Kidston, et peu après M. Grand'Eury en France et M. David White aux Etats-Unis, étaient assez heureux pour mettre la main sur des échantillons décisifs, desquels il ressortait qu'on avait affaire là à des plantes ayant porté des graines, mais sur leurs feuilles mêmes ou sur certaines parties de leurs feuilles, graines à structure d'ailleurs très complexe, tantôt pendantes à l'extrémité des nervures sur le bord de pinnules à peine modifiées, tantôt occupant la place de certaines pinnules, tantôt enfin situées à l'extrémité de branches nues du rachis, mais enveloppées dans des cupules plurilobées résultant sans doute d'une transformation du limbe.

Rien n'était connu dans le monde vivant, non plus que parmi les plantes fossiles d'autres épo-

ques, qui fût comparable à ces types singuliers, intermédiaires en quelque sorte entre les Fougères et les Cycadinées, et il a fallu agrandir pour eux les cadres de la classification en créant, dans l'embranchement des Gymnospermes, une classe nouvelle à laquelle a été donné le nom de Ptéridospermées.

De tels faits comportent des enseignements, en ce qui concerne la méthode : ils montrent avec quelle prudence, du moins pour les plantes anciennes, lorsqu'on ne possède pas leurs appareils fructificateurs, doivent être envisagées les ressemblances avec les plantes actuelles, et combien la constatation de certaines discordances doit mettre en garde contre des rapprochements trop hâtifs. Sans doute ces ressemblances n'en ont pas moins leur valeur, et il est permis de penser que les Ptéridospermées accusent l'existence d'un lien phylogénétique entre les Fougères et les Cycadinées, bien qu'on ne puisse guère songer à une filiation directe, les Fougères paraissant tenir une place de moins en moins importante dans la flore par rapport aux Ptéridospermées, à mesure qu'on passe à des formations plus anciennes, et pouvant difficilement, dès lors, être considérées comme leur ayant donné naissance. Mais on voit combien étaient fondés les doutes qu'avaient fait naître, relativement à l'attribution aux Fougères, les différences de structure relevées dans les tiges en question, et combien s'impose, en pareil cas, la recherche inlassable des organes de fructification.

A mesure qu'on s'élève dans la série des terrains et qu'on se rapproche de la période actuelle,

on a affaire à des plantes plus voisines de celles qui vivent aujourd'hui et l'on peut accorder plus de confiance aux ressemblances que présentent avec ces dernières les débris végétaux que l'on étudie. Il faut cependant s'attendre à rencontrer encore, à l'époque secondaire, un certain nombre de types susceptibles de différer sensiblement, à certains égards, en particulier par la constitution de leurs appareils fructificateurs, des types actuels auxquels ils paraissent le plus étroitement alliés, sans cependant que ces différences puissent aller, à ce qu'il semble, jusqu'à comporter l'attribution à un embranchement ou même à une classe autre qu'on ne l'aurait pensé d'après les ressemblances constatées ; et dans ce cas encore on est généralement mis en garde contre des assimilations trop formelles par les différences secondaires que l'on peut relever sur d'autres organes, plus fréquemment rencontrés et plus facilement observables.

C'est ainsi que les végétaux des couches jurassiques et infracrétacées désignés sous le nom de *Cycadeoidea* à raison de la ressemblance de leurs tiges avec celles de nos Cycadinées diffèrent en réalité de ces dernières à la fois par certains détails d'organisation, par la disposition latérale de leurs inflorescences, rangées en quinconce tout le long de la tige au lieu d'être terminales, et par la constitution tout autre de leurs appareils floraux, qui les écarte à la fois des Cycadées et des Zamiées actuelles, ainsi que l'ont définitivement établi les belles recherches M. G. R. Wieland sur les tiges à structure ıservée trouvées dans les gisements amérins. Qu'on fasse de ces Cycadéoïdées ou Ben-

nettitées un ordre de même valeur que ceux des Zamiées et des Cycadées, ou bien qu'on élargisse, sous le nom plus large de Cycadophytes, le groupe des Cycadinées pour les y comprendre à titre de sous-classe, il n'en demeure pas moins que la comparaison des tiges ou des organes foliaires avec ceux des Cycadinées actuelles avait conduit dès l'origine à un rapprochement exact; mais l'observation directe pouvait seule faire la lumière sur la constitution si spéciale de ces inflorescences, qui comprennent à la fois un appareil femelle et un appareil mâle disposés l'un par rapport à l'autre comme dans les fleurs hermaphrodites des Angiospermes, avec des feuilles staminales à peine différenciées par rapport aux feuilles végétatives et rappelant en même temps les frondes fertiles des Fougères du groupe des Marattiacées par leurs sacs polliniques soudés en capsules pluriloculaires.

De même encore, une série d'observations récentes, entre autres celles de M. Nathorst, ont révélé l'existence, chez certaines Conifères secondaires, de cônes femelles offrant des particularités très inattendues, mais ne différant pas tellement de ceux de certaines Conifères vivantes, qu'il y ait lieu de révoquer en doute l'exactitude de l'attribution à laquelle avait conduit tout d'abord l'examen des rameaux feuillés.

Lorsqu'on arrive à l'époque crétacée proprement dite, et surtout à la période tertiaire, on n'est plus exposé à se trouver en présence de types s'écartant autant de ceux de la flore actuel mais l'application de la méthode comparat n'en demande pas moins de circonspection

raison du nombre immense de termes de comparaison que nous offre le monde vivant, du moins en ce qui regarde les Angiospermes, et des grandes ressemblances que peuvent avoir les unes avec les autres des feuilles appartenant à des familles très différentes, puisque, comme je l'ai dit, on a presque exclusivement affaire à des feuilles détachées, plus facilement emportées par le vent jusqu'aux bassins de dépôt, et qu'on ne peut, le plus souvent, mettre en œuvre d'autres matériaux.

La justesse du coup d'œil, exercé par une longue pratique, qualité si nécessaire au morphologiste, jouera un rôle considérable dans ces comparaisons des feuilles fossiles avec les feuilles vivantes ; mais dans bien des cas il est prudent de s'en tenir à de simples rapprochements et de s'abstenir d'identifications génériques trop formelles, soit qu'on relève quelques différences de détail, soit au contraire que les caractères observés sur l'échantillon fossile paraissent communs à plusieurs genres vivants. Aussi, bon nombre de déterminations demeurent provisoires, et pour certaines feuilles, surtout parmi les plus anciennes, on en est encore à se demander si elles doivent bien être rapprochées de tels ou tels genres de Dicotylédones, ou s'il ne faut pas voir en elles des Gnétacées, c'est-à-dire des Gymnospermes, les feuilles des *Gnetum* ayant elles-mêmes les apparences de feuilles de Dicotylédones. De même pour les feuilles du Gnétacé connues sous le nom de *Credneria* est-on présence d'affinités multiples, entre lesquelles st impossible de se prononcer définitivement, n qu'il paraisse de plus en plus probable qu'il

faut les rapprocher des Platanes. Le plus sage est de s'abstenir d'affirmations qui ne seraient pas fondées sur des preuves décisives, et c'est avec toute raison qu'il a été recommandé, lorsqu'il peut subsister un doute sur l'attribution, de ne faire usage que d'un nom générique indiquant la ressemblance, mais non l'identité, tel que *Ficophyllum*, par exemple, pour des feuilles ressemblant à celles de telle ou telle espèce de *Ficus,* mais non susceptibles d'être rapportées à ce genre avec une absolue certitude. Là encore la découverte des appareils floraux pourra seule faire la lumière, et la recherche persistante s'en impose, si limité que puisse être l'espoir du succès.

Au surplus, la multiplication des matériaux permettra souvent de faire un choix entre les divers termes de comparaison, les variations de forme que l'on observe entre les diverses feuilles d'une même espèce fossile pouvant être de nature à préciser l'assimilation, et des échantillons plus nombreux pouvant, en même temps, offrir des caractères qui avaient jusqu'alors échappé à l'observation. C'est ainsi notamment que, dans l'étude qu'il a faite de la flore des cinérites pliocènes du Cantal, M. Laurent a pu, en rapprochant un grand nombre d'empreintes et les complétant les unes par les autres, apporter d'intéressantes rectifications à des déterminations que l'on ne songeait même plus à discuter, et reconnaître, entre autres, comme ayant appartenu à un *Paulownia* voisin de l'espèce actuelle du Japon, des feuilles regardées jusque-là comme représentant un Tilleul à ample feuillage. Il en va de même naturellement des organes autres que les feuilles, et l'étude détaillée de certains

fruits ailés recueillis dans ces mêmes gisements, et longtemps considérés comme des samares d'Orme, a permis également à M. Laurent d'établir qu'on avait affaire en réalité à des fruits polyptères, identifiables à ceux d'un genre américain de Nyctaginées.

Dans toutes ces recherches, la considération de la physionomie générale de la flore qu'on étudie, des conditions climatériques dans lesquelles elle paraît avoir vécu, pourra naturellement fournir d'utiles éléments d'appréciation, la présence, par exemple, de types de régions chaudes étant peu vraisemblable au milieu d'un ensemble composé de types de régions froides, ou inversement ; mais c'est là un genre d'arguments dont il ne faut user qu'avec circonspection, surtout à mesure qu'on s'éloigne de l'époque actuelle, des espèces différentes des nôtres pouvant, bien qu'assez voisines de celles-ci, n'avoir pas eu exactement les mêmes exigences.

Enfin il est à peine besoin d'ajouter que cette méthode de comparaison avec les types vivants exige à l'égard de ces derniers une documentation absolument complète, faute de laquelle on est exposé à faire fausse route : il y a quelques années, on a trouvé, dans certains dépôts tourbeux interglaciaires du nord de l'Allemagne, des milliers de petites graines dont il a paru longtemps impossible de trouver les similaires parmi les plantes actuelles, et qu'on avait même, pour ce motif, proposé de désigner sous le nom de *Paradoxocarpus ;* et cependant, à la suite de cherches méthodiques, M. Keilhack a pu trouver, vivant encore dans les tourbières de même région, la plante à laquelle apparte-

naient ces graines, le *Stratiotes aloides* ou Aloès d'eau, qui fructifie très rarement, et dont les graines n'avaient, pour ainsi dire, jamais fixé l'attention.

Les exemples que j'ai cités suffisent à montrer quels problèmes peuvent se poser dans l'étude des végétaux fossiles et comment ils varient avec la nature et avec le mode de conservation des échantillons recueillis, comme aussi avec leur degré d'ancienneté. Peu à peu cependant, les solutions se dégagent, et à mesure que nos connaissances progressent, nous devenons plus exigeants, ainsi qu'il arrive en toute science, et nous voulons des démonstrations, c'est-à-dire des déterminations, plus rigoureuses. Nous ne pouvons, malheureusement, espérer connaître jamais toute l'histoire du monde végétal, et il est certain que ses origines nous échapperont toujours, les terrains où nous aurions à rechercher ses plus anciens représentants étant trop profondément métamorphisés pour avoir pu en conserver les traces ; mais nous devons du moins nous efforcer de reconstituer aussi complètement et aussi exactement que possible les parties de cette histoire sur lesquelles nous pouvons recueillir quelques documents.

L'objectif essentiel, celui que j'ai eu en vue dans les lignes qui précèdent, est naturellement l'étude des types végétaux envisagés en eux-mêmes, la reconnaissance de leurs caractères morphologiques et de leurs affinités ; mais la reconstitution du passé comporte encore un élément important, à savoir la détermination de leur ordre d'apparition et de succession, et

paléobotanique manquerait à son rôle si, une fois ces types connus et classés, elle ne cherchait pas en outre à se rendre compte des liens phylogénétiques qui peuvent exister entre eux ; là encore, comme toujours en morphologie, c'est à la comparaison mutuelle qu'il lui faut recourir, à l'appréciation judicieuse des rapports et des différences ; ici toutefois l'interprétation personnelle intervient dans une plus large mesure et il est difficile de ne pas pénétrer plus ou moins dans le domaine conjectural. Cependant, quelque variable que puisse être l'interprétation, l'enregistrement et le rapprochement des faits observés ne peuvent manquer de fournir des enseignements intéressants, qui prendront d'autant plus de poids que les observations se multiplieront davantage et deviendront plus précises. Qu'il suffise de rappeler qu'on peut considérer comme acquis dès maintenant ce fait, de l'existence, entre des groupes aujourd'hui bien distincts, de jalons plus ou moins nombreux qui paraissent établir une liaison entre eux, mais sous forme de chaînons discontinus, et, à ce qu'il semble, sans transitions graduelles entre les uns et les autres ; parfois même, on peut se demander si ces chaînons se suivent bien dans le temps suivant l'ordre correspondant à la place qu'ils occupent dans la série et aux liens de filiation qu'elle serait de nature à faire présumer. De même n'a-t-on pas jusqu'ici enregistré de formes de passage entre les espèces plus ou moins analogues qu'on voit succéder les unes aux autres, et cela même dans la flore houillère, ainsi que l'a signalé à plusieurs reprises M. Grand'Eury, bien que cependant les matériaux

recueillis soient en nombre déjà bien considérable. Il y a là des problèmes du plus haut intérêt, et il est permis d'espérer que la continuation des recherches fera un jour quelque lumière en ce qui les concerne.

Enfin la paléobotanique a encore à étudier, dans le temps et dans l'espace, comment se groupent les formes végétales qu'elle s'efforce de reconnaître et de reconstituer, et ses méthodes, pour une telle étude, sont celles, combinées, de la géologie et de la géographie botanique : détermination précise de l'âge des gisements considérés, comparaison des flores des diverses époques successives, ou, à une même époque, des divers gisements de plantes fossiles, et, s'il y a lieu, délimitation du domaine occupé par telle ou telle flore, différente de celle reconnue sur d'autres points.

Il s'agit alors plus de constatations de faits que de problèmes à résoudre ; cependant nos connaissances restent très inégales d'une région aussi bien que d'une époque à l'autre, bien des parties du globe ayant été très insuffisamment explorées, les divers terrains, d'autre part, n'étant pas tous également riches et n'ayant pas été tous aussi soigneusement fouillés, ceux qui renferment des dépôts de combustibles fossiles étant, naturellement, ceux qui ont fourni le plus de documents et dont la flore est le mieux connue. Les comparaisons à faire entre flores successives demandent, d'ailleurs, à être d'autant plus approfondies qu'il s'agit de dépôts plus rapprochés comme âge géologique et, par conséquent, de flores moins dissemblables, et c'est c

s'attachant à noter avec soin toutes les différences, qu'on est parvenu plus d'une fois à caractériser par les plantes qu'on y rencontre, sinon les couches successives, du moins les divers faisceaux de couches d'un bassin houiller donné, à utiliser ces caractères pour la reconnaissance des faisceaux déplacés par des accidents plus ou moins importants, et à tirer ainsi, des données paléobotaniques, de précieuses indications pour la recherche et la découverte de nouvelles richesses houillères. Par contre, il existe encore, à d'autres niveaux, de regrettables lacunes dans nos connaissances, en ce qui regarde, en particulier, les flores antérieures à la période carbonifère, ainsi que celles de la fin de l'époque permienne et du commencement de l'époque triasique, qui seraient cependant particulièrement intéressantes à étudier, à raison des modifications importantes qui ont dû s'accomplir à cette époque, à en juger par les différences que l'on constate entre les flores mieux connues que l'on observe au-dessus et au-dessous ; il est à souhaiter que la découverte de gisements nouveaux nous fournisse à un moment donné, sur ce passage de la flore primaire à la flore secondaire, les documents qui nous font défaut.

En ce qui touche les variations de la flore d'un point à l'autre du globe à un moment donné, la paléobotanique a pu déjà enregistrer bien des faits instructifs : d'une part, une longue période d'uniformité presque absolue allant jusque vers l'époque crétacée, la flore étant la même et subissant les mêmes transformations graduelles dans toutes les régions, à l'exception toutefois d'une différenciation peu durable, sur-

venue vers la fin des temps primaires, due peut-être à des phénomènes glaciaires et consistant dans la constitution de deux provinces botaniques bien distinctes, l'une boréale, mais s'étendant plus ou moins au delà de l'équateur, l'autre occupant le reste de l'hémisphère austral ; d'autre part, la manifestation progressive, à partir de l'époque crétacée, de différences climatériques suivant la latitude, accompagnée de la migration vers le sud des types végétaux de régions tempérées et froides descendant du nord peu à peu, jusqu'à ce qu'on arrive à l'établissement de la flore actuelle.

Pour de telles constatations, les observations paléobotaniques doivent être des plus attentives et des plus complètes, et l'on peut citer comme un modèle celles qui ont été faites en Scandinavie, où l'étude minutieuse, lit par lit, des moindres débris végétaux rencontrés dans les tourbes et les tufs quaternaires a permis de suivre toutes les oscillations climatériques depuis l'époque glaciaire et toutes les modifications successives qui ont amené finalement la flore locale à la composition qu'elle présente aujourd'hui.

Malgré toutes ces conquêtes, la paléobotanique a encore bien des territoires vierges à explorer, bien des recherches à compléter, bien des problèmes à résoudre, et elle aurait besoin de plus nombreux ouvriers : le champ est assez vaste pour les occuper, ils peuvent compter y faire de fructueuses récoltes et y trouver les hautes jouissances qui font la récompense des vrais naturalistes.

R. ZEILLER,
de l'Institut,
Professeur à l'École des min

BOTANIQUE

La botanique, ou science des végétaux, doit être considérée à un double point de vue.

Le botaniste peut avoir pour but l'énumération des formes de plantes, leur comparaison et leur classification dans un ordre logique; limitée à cet objet, la botanique est la plus ancienne et la plus parfaite des sciences naturelles; la méthode et le langage botaniques ont été imposés aux naturalistes par Linné dès 1837; on ne peut signaler de progrès importants dans cette *botanique spéciale*, depuis un siècle et demi, à moins de considérer comme tel la plus complète connaissance des organismes inférieurs, grâce à l'emploi du microscope.

La botanique comprend aussi et surtout l'étude de la vie des plantes; le développement de cette *botanique générale* résulte de l'application aux végétaux des notions et des méthodes en usage dans les sciences physiques et chimiques; les biologistes essaient de ramener à des concepts simples et généraux la variété des formes, leurs affinités. Les botanistes modernes (1797-1910) ont imaginé une unité morphologique, le phyton, une unité anatomique, la cellule, une unité héréaire, le pangène : ils se proposent de construire ec ces éléments des formes, des structures, des nées qui correspondent, avec une exactitude

suffisante, aux lignées, aux structures, aux formes végétales douées de vie. Quant à la physiologie, qui se réduit pour les végétaux à l'étude des échanges nutritifs, elle a toujours progressé comme une branche annexe des sciences physiques et devrait être étudiée dans des chapitres particuliers de la physique et de la chimie.

*
* *

La méthode botanique est l'œuvre de Linné (1707-1778).

Les difficultés que le botaniste suédois a rencontrées au début de sa carrière expliquent en partie la valeur et les imperfections de sa méthode. Fils d'un pasteur protestant sans ressources et destiné à la carrière ecclésiastique, Charles Linné fut un élève frondeur et indiscipliné; presque chassé par ses premiers maîtres, il se rendit à Lund, puis à Upsal, pour étudier la médecine : mais son extrême pauvreté l'obligea longtemps à se livrer à des travaux manuels pour acheter des livres; professeur suppléant de botanique, puis explorateur officiel, il dut, entre deux missions, donner des leçons de sciences physiques et naturelles pour gagner sa vie.

Au cours d'un voyage en Hollande, il se fit apprécier de Cliffort, riche banquier et propriétaire d'une des plus belles collections de plantes vivantes de l'Europe, qui le traita en ami et lui donna les moyens de publier en quelques années ses meilleurs ouvrages[1]. Linné avait alors trente

[1] En 1735, *Systema naturæ;* en 1736, *Fundamenta botanica* et *Critica botanica;* en 1737, *Genera plantarum, Hortus Cliffortianus* et *Flora laponica.*

ans, il visita l'Angleterre, la France, reçut bientôt les titres de Membre de la plupart des Académies d'Europe ; dix ans plus tard, son enseignement était adopté dans presque toutes les Universités, en Hollande, en Allemagne, en France. Les Suédois, ses compatriotes, qui l'avaient d'abord froidement accueilli, le nommèrent cependant professeur de botanique à l'Université d'Upsal ; il devint ensuite président de l'Académie de Stockholm et fut créé noble.

Cette fortune singulière et rapide explique l'énergie avec laquelle Linné a imposé sa méthode et ses règles, énoncées en 1750 dans la *Philosophia botanica*. Il les présente en ces termes au public :

« J'ai réuni autrefois, dans un petit nombre d'aphorismes (*Les Fondements de la botanique*), la théorie et les éléments de cette science. J'ai nommé *Philosophie botanique* le développement de ces principes par des exemples, des observations et des démonstrations, ayant scrupuleusement distingué et défini les parties des plantes et jusqu'aux termes eux-mêmes. »

Dans son exposé de la science botanique, Linné a su laisser une place suffisante à l'œuvre déjà considérable des savants qui le précédaient. Il tint compte des travaux des anciens et de leurs commentateurs (Théophraste, Pline, Dioscoride commentés par Daléchamp et Matthéole), des descripteurs comme Clusius d'Arras, Dodonaeus, Ray, J. Bauhin, Tournefort ; il se fit communiquer les plantes des jardins les plus célèbres de Padoue, de Pise, de Paris, de Leyde, de Montpellier et de Nuremberg ; il a lui-même classé et écrit les plantes du jardin de Cliffort. Aux flores

régionales (Guettard, Plantes d'Étampes; Vaillant, Plantes des environs de Paris) et exotiques (Tournefort, Plantes du Levant; Kempfer, Plantes du Japon), Linné ajouta la Flore de la Laponie en 1737, celle de la Suède en 1746, celle de Ceylan (*Flora Zeylanica*) en 1747; cette accumulation de documents n'étouffa point son génie; le professeur de botanique à l'Université d'Upsal resta un « instituteur [1] ».

Il y a deux hommes en Linné, le savant et l'éducateur. Le savant nous est presque inconnu; il est partisan de la variabilité limitée de l'espèce, il étudie les plantes hybrides, il fait publier l'histoire des Graminées agricoles et la transmutation des Froments; il examine en professeur d'Université les travaux de ses élèves, discute les thèses qui lui sont soumises en homme instruit,

1. Je ne puis résister au désir de faire connaître l'état d'esprit de Linné, en citant quelques passages choisis de la *Philosophie botanique :*

§ 18. — Les méthodistes s'appliquèrent particulièrement à perfectionner la disposition des végétaux et à en tirer la dénomination ; on les distingue en Philosophes (19), en Systématiciens (24), en Nomenclateurs (38).

§ 19. — Les Philosophes firent de la botanique une science en la déduisant de principes rationnels ; tels sont les Orateurs (20), les Éristiques (21), les Physiologues (22), les Instituteurs (23).

§ 20. — Les Orateurs employèrent leur art à orner cette science. (Dignité de la botanique par Helvigius, Discours de Commelin, Emblèmes de Camerarius).

§ 21. — Les Éristiques disputèrent publiquement dans des ouvrages de botanique (Discussions de Tournefort et de Colet, de Ray et de Rivin, de Linné et de Sigesbeck.)

§ 22. — Les physiologues révélèrent les lois de la végétation et le mystère des sexes dans les plantes (Lettre de Camerarius; Discours de Vaillant; *Mariage des plantes* de Wahlbom, que nous (Linné) avons publié).

§ 23. — Les Instituteurs formèrent les règles et les princi (Jungius, *Introduction à l'étude des plantes;* Nous, le prés ouvrage; Ludwig, *Règne végétal et Aphorismes botaniques*).

souple, parfois même très hardi. En 1751, il accepte la responsabilité de l'explication, par une hybridation entre deux genres classés depuis dans des familles différentes, de la forme rare *Veronica spuria*, issue d'après lui de *Veronica maritima* fécondée par *Verbena officinalis*.

La même année, l'instituteur donne à ses disciples les premiers éléments de la Botanique; il enseigne et fait adopter par tous les naturalistes les principes suivants qui ont été tant discutés au siècle dernier :

« § 157. — Nous comptons autant d'espèces qu'il y a eu au commencement de formes diverses créées.

« § 310. — Le Botaniste ne se préoccupe pas des variétés les plus légères;

« § 308. — Les formes sexuelles constituent à elles seules les variétés naturelles; toutes les autres sont des monstres. »

Il complète cette œuvre par la publication du *Genera plantarum*, qui fut imprimé cinq fois de son vivant, et du *Species plantarum* (1753); le traité définitif en quatre volumes, *Systema naturæ* (1766), fournit la nomenclature de tous les êtres vivants encore en usage actuellement.

Avant Linné, il n'y avait pas de règles, ni de nomenclature; les auteurs désignaient les végétaux, comme les animaux et les minéraux, par leurs noms populaires traduits en latin et complétaient les diagnoses par des descriptions plus ou moins longues; il n'y avait pas de priorité, ni même de contrôles des catalogues. Les savants adoptaient dans leur conversation et leur correspondance le langage de Tournefort ou celui de Rivin, selon l'école à laquelle ils

appartenaient. Linné eut la bonne fortune de simplifier et de préciser ce langage en adoptant, en proposant, puis en imposant à tous les naturalistes la *nomenclature binaire*. Les espèces vivantes y sont désignées par deux noms latins; le premier correspond au genre, groupe assez bien défini dans le système de Tournefort; le second, ou nom d'espèce, remplace les diagnoses, condensées déjà à l'énoncé bref des caractères les plus remarquables. Les naturalistes continueront à employer le langage et la nomenclature de Linné; depuis un siècle, il essaient de se débarrasser, sans toujours y réussir, des notions fausses, entraînées et accumulées par un long usage de principes arbitraires dans le groupement systématique des êtres.

Grâce à son absolutisme, Linné a contribué plus que tout autre à perfectionner la Classification des végétaux, qui constituait à elle seule toute la Botanique. Ray avait déjà rangé les plantes par bandes d'après l'aspect des fleurs et des fruits; Tournefort définit et nomma les groupes de second ordre, les genres, renfermant les plantes qui se ressemblaient par les organes végétatifs et même par les qualités; il insista bien sur le côté artificiel de la répartition des formes végétales en 698 genres et ses élèves ne manquèrent pas de modifier cette répartition. Cinquante ans plus tard, en 1759, Linné décrivit 1.174 genres provenant en partie de découvertes récentes, mais surtout de changements introduits dans les genres de Tournefort. Il réussit alors à faire observer par ses contemporains le respect deux règles données dans la *Philosophie bo nique*, ce qui fait de lui le fondateur de

Botanique systématique. Voici ces deux règles :

« § 159. La révélation, les découvertes, l'observation confirment que tous les genres et espèces sont naturels. Tous les genres sont naturels et créés ainsi dès l'origine des choses ; il ne faut ni les diviser, ni les réunir au gré de sa volonté ou en faveur de son système.

« § 162. L'espèce et le genre sont toujours l'ouvrage de la nature ; la variété le plus souvent est celui de l'art ; la classe et l'ordre sont l'ouvrage de la nature et de l'art. »

L'enseignement de Linné fut stérilisant ; s'il n'avait eu pour résultat un langage précis et une nomenclature commode, il aurait été néfaste aux sciences de la nature, les ravalant au degré de catalogues plus ou moins corrects, dont la principale qualité, la clarté, était acquise aux dépens de la suppression des détails et de l'exactitude ; il a pourtant permis le recensement presque complet des formes ayant vécu ou vivant à la surface du globe.

Le langage de Linné paraît devoir persister indépendamment des idées et des théories ; il est devenu indispensable bien que son caractère artificiel et dogmatique ne fasse de doute pour personne ; ne se rattachant plus à aucune notion générale, ce langage est moins que tout autre sujet à disparaître dans la lente évolution des idées [1].

1. Au Congrès international des botanistes tenu à Vienne en ----, on adopta, pour régler la nomenclature, le *Species plantarum* Linné (1753) comme point de départ de toutes les dénominations concernant les Végétaux supérieurs (Plantes à fleurs et Fougères) : au Congrès de Bruxelles, en 1910, il fut admis que ce même ouvrage devait encore être utilisé pour la spécification de

*
* *

L'influence de Linné, quoique profonde, fut contrebalancée durant tout le XVIIIe siècle par celle des naturalistes physiciens, nourris des idées de Newton et de Leibnitz, à qui revient l'honneur d'avoir préparé l'esprit humain aux études biologiques.

Dès 1671, Malpighi avait donné une explication suffisante des mouvements des liquides dans les végétaux et fourni une distinction exacte entre la sève brute et la sève élaborée. Stephen Hales, en 1727, fit de ces recherches les éléments d'une véritable science, la *Statique des végétaux* : il détermina par la balance les échanges entre les organes, il mesura la rapidité de déplacement de la sève, la force de succion des racines, la pression des liquides à l'intérieur des organes; ayant effectué des séries de mesures, il montra que les mêmes mouvements pouvaient s'observer dans les corps poreux inorganisés; ses observations, plus justes que celles de Ray, ont préparé l'étude de la capillarité qui fait partie de la Physique depuis plus d'un siècle.

D'autre part, Mariotte, que ses travaux sur les gaz ont rendu célèbre parmi les physiciens du XVIIe siècle, paraît avoir inauguré brillamment les recherches de chimie végétale; il démontra, par exemple, que les substances constitutives de la sève sont les mêmes pour tous les végétaux :

tous les autres végétaux (Hépatiques, Lichens, Myxomycètes), s pour les Champignons, les Algues unicellulaires, les Algues con guées et les Mousses proprement dites dont l'étude ne s'est dé loppée qu'au XIXe siècle.

« Prenez un pot, dit-il[1], qui contienne de sept à huit livres de terre ; semez-y n'importe quelle plante ; elle trouvera dans cette terre et dans l'eau de pluie qui y pénètre tous les principes dont elle se compose lorsqu'elle a atteint son complet développement. On peut semer dans cette terre trois ou quatre mille espèces végétales ; si les sels, les huiles, les matières terreuses dont se compose chaque espèce végétale étaient de nature différente, tous ces principes devraient se trouver réunis dans la petite quantité de terre dont nous avons parlé plus haut et dans l'eau de pluie qui arrose cette terre durant trois ou quatre mois, ce qui est impossible. »

Duhamel du Monceau, Guettard, de Saussure, Priestley continuèrent l'œuvre de Hales et de Mariotte ; l'étude des minéraux et celle des êtres vivants furent pendant un demi-siècle parallèles et simultanées, jusqu'à ce que la découverte, en chimie, des corps simples par Lavoisier ait déterminé une séparation, plus factice que réelle, entre chimistes et physiologistes.

Ingen-Houss, Sénebier et de Saussure (1804) établirent par des pesées le rôle réservé aux feuilles vertes de fixer du carbone et de l'oxygène ; A. P. de Candolle et Dutrochet déterminèrent avec beaucoup de précision la limite entre les phénomènes de la respiration et de l'assimilation chlorophyllienne. Dutrochet mit en évidence les effets mécaniques de l'endosmose (1837) ; il expliqua ainsi la turgescence et la croissance des végétaux par des lois physiques, mais

1 *Sur le sujet des plantes*, lettre datée de 1679, d'après Sachs, *Histoire de la Botanique*, p. 479.

il ne put triompher des partisans de la force vitale, que les chimistes eux-mêmes, dont Berzélius, considéraient comme productrice des substances organiques. C'est à Liebig (1840) que revient le principal mérite d'avoir affirmé que les organismes vivants obéissent, dans leurs rapports avec le milieu extérieur, aux lois de la physique et de la chimie, et à Boussingault (1855), d'avoir prouvé qu'un sol, privé de matières organiques (d'humus) par le feu, dans lequel on introduit du nitrate et des cendres, suffit à la nutrition normale des plantes ; l'assimilation chlorophyllienne produit tout le carbone des végétaux.

Vers 1860, Pasteur montra que la levure de bière se développe normalement dans un liquide qui renferme du sucre, des traces de tartrate d'ammoniaque et des cendres de levure ; Raulin, dans ses *Etudes chimiques sur la Végétation* (1870), donna une formule complexe de sels chimiques parfaitement définis pouvant être substituée aux cendres dans la solution précédente ; le liquide de Raulin, solution qu'on peut former en partant des éléments cristallisés, suffit à la nutrition de la plupart des plantes. L'aliment complet se compose donc de douze éléments simples, l'oxygène libre, le carbone résultat de l'assimilation chlorophyllienne, l'hydrogène, l'azote, le phosphore, le soufre, le silicium, le potassium, le magnésium, le fer, le zinc et le manganèse ; les graines ou les spores mises en présence de proportions convenables de ces différents corps sont capables de construire tous les organes, préparer tous les produits de réserve, essences, les huiles d'origine végétale.

L'intervention dans l'alimentation normale de l'oxygène, du carbone, de l'hydrogène, de l'azote, du phosphore et du soufre s'explique facilement par la présence de ces corps métalloïdes dans les matières protéïques qui constituent la majeure partie du protoplasma actif et des noyaux cellulaires. L'utilité des métaux est encore discutée ; le fer entre dans la composition de la chlorophylle ; le potassium, le silicium n'ont pas de rôle bien défini ; le zinc, le manganèse, le magnésium facilitent et activent les phénomènes diastasiques, si importants dans l'économie des êtres vivants.

La découverte de Pasteur sur le rôle des ferments figurés, levures ou bactéries, dans la destruction rapide des matières organiques et des réserves ont été complétées par celle des *diastases*, ferments solubles qui rendent instantanées ou rapides des transformations chimiques ordinairement lentes. Des physiciens et des chimistes remarquables ont alors pu émettre cette hypothèse vraisemblable que toutes les réactions propres à la matière vivante, le dépôt des réserves, leur dissolution et même leur oxydation sont des réactions physico-chimiques, la présence de cellules vivantes pouvant être remplacée par celle des diastases qu'on sait extraire des corps vivants par des traitements successifs à l'eau, à l'alcool ou à la glycérine. Mais bientôt on put substituer des solutions métalliques colloïdales aux diastases elles-mêmes. Une branche nouvelle de la connaissance des êtres vivants, la *chimie biologique*, née de la physiologie de nutrition, la renferme désormais comme un particulier des actions catalytiques, de même

que le problème du mouvement de l'eau dans les tiges et les feuilles, puis dans les cellules elles-mêmes, a été ramené à l'étude plus générale des lois physiques de la capillarité et de l'osmose [1].

*
* *

Pendant une grande partie de la vie de Linné et après lui, les discussions botaniques eurent pour objet le perfectionnement des classes et des ordres, « ouvrages de la nature et de l'art », auxquels il était permis de toucher. Les 65 sections (nous disons actuellement familles), adoptées par Linné dans le *Système sexuel des plantes* (1738), reposaient sur des analogies de nombre, de proportions relatives et de situation des étamines dans la fleur ; en 1751, Linné lui-même lui apporta un perfectionnement en tenant compte des caractères de la fructification, et le nombre des sections fut élevé à 68 ; il indiquait ainsi le sens des progrès à réaliser pour aboutir à la découverte de la *Méthode naturelle* « le premier et le dernier but des botanistes » ; ce fut l'œuvre des Jussieu.

Bernard de Jussieu n'a laissé comme travail personnel qu'un Catalogue, établi vers 1765, des plantes du Jardin botanique de Trianon qui venait d'être créé par Louis XV ; ce catalogue resta d'ailleurs inédit jusqu'en 1789, date à laquelle son neveu, Antoine-Laurent de Jussieu le publia en tête de son *Genera plantarum* ; il

1. Les lois de l'osmose ont été établies avec rigueur par botaniste, M. Hugo de Vries, l'auteur de la théorie de la mutat des espèces.

paraît que Bernard se refusait à en faire connaître le détail parce qu'il espérait pouvoir apporter de nouvelles améliorations à sa méthode. Ce souci de la perfection indique un tempérament bien différent de celui de Linné ; mais, le fait important, sur lequel on n'a pas assez insisté et qui constitue, à mon avis, tout le mérite de la méthode naturelle, c'est que Bernard de Jussieu *a observé, étudié et classé des plantes vivantes.* Linné et ses contemporains travaillaient avec des matériaux desséchés, des plantes d'herbier, des gravures ou des descriptions très imparfaites ; Bernard de Jussieu faisait planter côte à côte ou séparer dans le Jardin de Trianon les genres et les espèces entre lesquels il reconnaissait des affinités ou des divergences notables ; des remaniements répétés transformèrent les sections de Linné, les bandes de Ray, en Familles naturelles. Aux subdivisions commodes mais grossières, qui correspondaient en fait aux diverses combinaisons possibles de nombre et de disposition des pièces florales, Jussieu substitua les affinités réelles, observées sur les fleurs et les ovaires frais ; il mit en relief l'importance de l'insertion des étamines, de la structure des graines, de la forme et de la position des embryons ; il distingua le premier les grands embranchements des Monocotylédones et des Dicotylédones.

La grande découverte de B. et A. de Jussieu, qui les place à certains points de vue au-dessus de Linné lui-même, est celle de la *subordination des caractères* : « les caractères doivent être pesés et non comptés ».

Il existe dans les êtres vivants quelques familles qui méritent, à cause de leur homogénéité, le

qualificatif de *naturelles;* telles sont, parmi les plantes supérieures, les Graminées, les Ombellifères, les Légumineuses, les Composées. En notant les caractères ou les organes appartenant à l'ensemble des espèces d'une de ces familles, puis les caractères moins fréquents, puis les caractères plus rares, on réussit à évaluer l'importance relative d'un caractère ou d'un organe par sa fréquence ; en classant, dans les Familles naturelles, les caractères d'après leur importance relative, on constate que certains d'entre eux en entraînent d'autres de rang inférieur, si bien que l'énoncé d'un caractère bien choisi correspond à l'exposé de toute une série de particularités secondaires qui y sont liées. La règle de la *Subordination des caractères* repose donc sur la détermination, par des statistiques plus ou moins rigoureuses, de la fréquence relative des caractères et des corrélations.

Ainsi, la majeure partie des végétaux à fleurs donne des graines pourvues de deux cotylédons; d'autres, assez nombreux aussi, ont des graines pourvues d'un seul cotylédon ; la fréquence de ces deux caractères en fait des éléments de premier ordre pour la classification. Les feuilles des mêmes plantes sont le plus souvent étalées, à nervures divergentes, rayonnantes ou pennées et, presque toujours, cette forme de feuilles correspond à des embryons pourvus de deux cotylédons; par contre, les feuilles des monocotylédones sont allongées, à nervures parallèles ; enfin les plantes dicotylédones ont des fleurs co truites sur le type 5, les monocotylédones, fleurs du type 3. D'après A. de Jussieu, la sul vision en Dicotylédones et en Monocotylédo

est naturelle, puisqu'elle traduit simultanément des différences nombreuses et parallèles entre organes divers; de plus, le classement des caractères — deux cotylédons, fleurs du type 5, feuilles à nervures divergentes — ou — un seul cotylédon, fleurs du type 3, feuilles à nervures parallèles — correspond à leur fréquence relative, ce qui établit la subordination.

De 1789 à 1835, Antoine-Laurent de Jussieu ne cessa de perfectionner les Familles naturelles; il fut aidé par le Chevalier de Lamark, Ventenat, Desfontaines, Jaume Saint-Hilaire et les de Candolle. Les avantages de cette méthode de classement étaient si évidents que les zoologistes s'empressèrent de l'adapter à l'étude des animaux. Lamark, Cuvier, Geoffroy Saint-Hilaire entre autres ont été entraînés par l'importance du principe de la méthode naturelle, qui inaugura, de l'aveu même de Cuvier[1], « dans les sciences de l'observation, une époque peut-être aussi importante que la Chimie de Lavoisier dans les sciences d'expériences ».

*
* *

Dans le Système d'A. de Jussieu, la description des plantes, des espèces et des genres reste au second plan, la comparaison des organes homologues fournit les éléments de discussion et d'étude. De cette comparaison, naquit une science particulière, l'*Organographie*, que A.-P. de Candolle porta dès 1827 à un degré de

1. Cuvier. *Rapport historique sur les progrès des Sciences naturelles de 1789 à 1808*, Paris, 1810, p. 305.

perfection qui n'a guère été dépassé depuis. M. Van Tieghem a attiré mon attention sur un ouvrage rare et trop peu connu, le *Carpologia* de J. Gaertner, résultat de cinquante années de dissection des fruits ; paru la même année (1789) que le *Genera plantarum* d'A. de Jussieu, il contribua autant que cet ouvrage au perfectionnement de la méthode naturelle et à l'abandon du Système de Linné; il semble même que la Carpologie de Gaertner ait été une œuvre modèle, rarement égalée, pour tous les savants qui s'occupèrent, à partir de cette époque, de la description des organes des plantes.

Grew et Malpighi avaient fait une tentative malheureuse d'analyse des organes par l'étude des éléments plus petits qui les constituent; leurs instruments n'étaient pas assez perfectionnés pour l'étude de la cellule et de ses modifications. La discussion des analogies et des différences entre les organes, la recherche de l'importance relative des parties entraîna les botanistes à la description comparée des tiges, des feuilles, des fleurs; la morphologie comparée retarda d'un siècle l'apparition des travaux d'anatomie. Duhamel et Sénébier, Turpin et A.-P. de Candolle contribuèrent beaucoup à faire de l'Organographie une science perfectionnée, mais le mouvement fut nettement dirigé par A. de Jussieu; à l'étude des subdivisions et au groupement des individus en espèces, en genres, en classes, ces savants substituèrent la recherche de définitions précises de la feuille, de la racine, de la tige et des parties composant les fleurs ; ils déterminèrer ensuite l'importance relative de ces parties.

Les différents organes sont plus ou moins géné-

raux ; le tissu cellulaire est commun à tous les êtres ; les vaisseaux, les tissus de réserves sont moins répandus ; les feuilles (organes symétriques par rapport à un plan) s'observent sur toutes les Mousses dont quelques-unes ne possèdent point de tige (organe symétrique par rapport à un axe). Parmi les plantes ayant des feuilles, des racines et des tiges, on distinguait déjà celles qui avaient des fleurs de celles qui n'en avaient pas ; la règle de fréquence fut utilisée pour établir la subordination des organes végétatifs, feuilles, tiges, racines et, pour les organes reproducteurs, la subordination des parties de la fleur, étamines et pistil, calice, corolle, nectaires, bractées et involucres. Peu à peu, on fut conduit à ramener les organes à deux types, les axes et les feuilles. Les cotylédons ou feuilles séminales, les feuilles primordiales, les feuilles proprement dites, les bractées des grappes florales, les sépales, les pétales, les étamines et les carpelles sont des éléments équivalents qui correspondent à l'épanouissement vers l'extérieur et dans un plan d'un ou de quelques faisceaux vasculaires des tiges.

La conception la plus remarquable dans ce domaine est due à l'illustre poète et philosophe allemand, Jean-Wolfgang Gœthe. Sa *Métamorphose des plantes* parue en 1790, est à la fois une œuvre d'Organographie végétale remarquable et une des plus belles applications du *principe de continuité* qui guida les philosophes mathématiciens et physiciens du XVIIIe siècle.

Gœthe présente l'exposé de la métamorphose s plantes en ces termes : « Tout homme, pour u qu'il ait suivi quelques plantes dans leur

accroissement, doit avoir observé que certains organes, situés à l'extérieur, se métamorphosent et revêtent en tout ou en partie la forme des organes voisins » ; il examine et discute ensuite de nombreux exemples de « la liaison secrète qui unit les feuilles, le calice, la corolle, les étamines, appendices de la plante qui se développent l'un après l'autre et pour ainsi dire l'un de l'autre. »

L'influence de Gœthe fut profonde et durable ; complétant par ses recherches sur les végétaux le but de ses dissections d'animaux, il réussit à établir que « l'être vivant n'est pas une unité, mais une pluralité », que la forme est une réunion d'êtres plus ou moins indépendants, identiques au fond, semblables parfois, mais souvent différents en apparence ; ces éléments se séparent, se rencontrent, se réunissent et donnent une multiplicité d'aspects et de groupements : « Plus l'être devient parfait, et plus les parties sont dissemblables. Dans le premier cas, le tout ressemble à la partie ; dans le second cas, c'est l'inverse ; plus les parties sont semblables, moins elles sont subordonnées les unes aux autres ; la subordination des organes indique une créature d'un ordre élevé. » (1807). Ne trouve-t-on pas dans cette phrase de Gœthe les arguments suffisants pour expliquer l'évolution de toutes les formes vivantes ?

Le principe des analogies ayant été mis en relief par Gœthe, on chercha à appliquer le principe de causalité, et tout l'effort des botanistes, je dirai même des naturalistes du début du XIXe siècle, a été orienté vers l'étude des l mécaniques de la forme, des règles de la dist bution et de la corrélation des parties.

*
* *

Gœthe a donné à sa théorie de la Métamorphose un sens figuré ; il n'a point cherché à établir que telle forme foliaire était primordiale et avait donné naissance à toutes les autres; il n'a point montré qu'avec la feuille ou des organes analogues à la feuille on pouvait expliquer toutes les manifestations végétales ; ce fut l'œuvre de Gaudichaud (1835) dont la *Théorie des phytons* eut à une certaine époque un grand succès.

Pour Gaudichaud, les tiges sont des organes composés d'éléments nombreux, les bourgeons, identiques au fond, variables dans leur forme, superposés ou greffés les uns sur les autres selon certaines règles d'agencement. Le bourgeon simple (ou phyton simple) est composé d'une tigelle, d'un pétiole, d'un limbe et parfois d'une radicule; c'est l'embryon des Monocotylédones, et, dans ce groupe de végétaux supérieurs, tous les phytons, emboîtés les uns dans les autres, restent parfaitement semblables entre eux et conservent même leur indépendance. Les Dicotylédones dérivent de l'association de phytons doubles, composés en principe de deux individus simples dont les parties se combinent plus ou moins complètement. Cette théorie résume les travaux d'anatomie végétale de Turpin et de Robert du Petit-Thouars; elle va nous faciliter l'exposé des règles de la Symétrie végétale établies par A.-P. de Candolle et complétées ensuite par les travaux d'A. Braun
[illegible]. Schimper, en Allemagne, des minéralo-
tes L. et A. Bravais, en France.
)e Candolle a terminé son remarquable *Traité*

d'Organographie (1827) par un chapitre sur la Symétrie végétale ; « en examinant les rapports des organes, dit-il, on reconnaît leur *distribution symétrique* ». Les feuilles sont souvent opposées ; les fleurs sont composées de verticilles de pièces équivalentes ou semblables, distribuées suivant des règles. De même que chaque classe de cristaux peut être représentée par un état régulier visible ou concevable par homologie, de même il correspond à chaque famille de plantes un *type* plus ou moins apparent.

Schimper dans ses cours (1834) et A. Braun dans un mémoire important (1835) ont montré que la distribution des feuilles sur les axes se fait sur une ligne spirale, non pas au hasard, mais à des intervalles réguliers ; l'*angle de la divergence*, dont la mesure est celle de l'angle dièdre défini par la tige et les nervures principales de deux feuilles quelconques consécutives, est le même pour toutes les feuilles d'une plante, ou encore pour toutes les plantes d'une même espèce, souvent d'une même famille. Si l'on part d'une feuille, il faut d'ordinaire suivre la spirale un nombre p de fois autour de l'axe et compter un nombre n de feuilles, pour retrouver une feuille exactement superposée ; la fraction $\frac{p}{n}$ de circonférence mesure la divergence foliaire. Indépendamment de Braun et Schimper, L. et A. Bravais ont établi que les valeurs de ces rapports $\frac{p}{n}$ ne sont pointquelconques ; les plus communes appartiennent à la suite.

$$\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{3}{8}, \frac{5}{13}, \frac{8}{21}, \frac{13}{34},$$

dont les termes successifs sont obtenus en additionnant les chiffres correspondants des deux termes précédents.

Hofmeister (1868), puis Schwendener (1878), ont essayé d'expliquer, par des causes physiques, cette distribution régulière des organes élémentaires; les jeunes feuilles sont exquissées dans les très petits bourgeons et représentées par des successions de petits mamelons imbriqués, d'autant plus petits et plus serrés qu'on approche davantage du sommet; le nouveau mamelon n'est donc pas absolument libre de croître en un point quelconque; il doit apparaître au niveau de l'espace le plus large, qui est libre entre les mamelons foliaires déjà formés.

On a donné aussi une explication physiologique de la symétrie foliaire qui paraît d'ailleurs moins fondée. Puisque les fonctions des feuilles (fixation du carbone et transpiration) dépendent strictement de l'éclairement, il y a intérêt à ce qu'elles se recouvrent le moins possible; la sélection naturelle ne suffirait-elle pas à expliquer la persistance des types les mieux organisés à ce point de vue? Darwin n'a pas donné de réponse à ce problème dont il fut très sérieusement préoccupé.

Cette explication physiologique n'est d'ailleurs pas valable en ce qui concerne la répartition symétrique des pièces florales, répartition qui constitue un des caractères les plus nets des Familles naturelles de végétaux. La représentation schématique de la situation respective des diverses pièces florales, fournie par les diagrammes et les formules des fleurs, peut être comparée aux figures et aux formules représen-

tant les divers systèmes cristallins. Payer (1858), M. Van Tieghem (1875), par leurs travaux d'embryogénie et d'anatomie, ont beaucoup fait, avec Eichler (1876-78), pour mettre en relief les applications de la formule générale :

Fleur = m Sépales + n Pétales + p Étamines + p' Étamines + q Carpelles.

Pour la plupart des Monocotylédones, $m = n = p = p' = q = 3$; pour un grand nombre de Dicotylédones, $m = n = p = p' = q = 5$; le chiffre 4 caractérise le groupe des Bruyères et des Rhododendrons, le chiffre 2, quelques types isolés (Noyers, *Eriocaulon*).

Les déviations à la règle de répartition symétrique des organes floraux s'expliquent presque toujours par des avortements partiels ou complets de verticilles. Les Iridées ont le diagramme floral des Monocotylédones, où il faut supprimer les étamines internes ($p' = o$); en cultivant en lignée pure les descendants d'une fleur anormale d'*Iris pallida*, Heinricher a obtenu une lignée d'Iris à 6 étamines (*I. pallida abavia*) dont le diagramme est celui des Liliacées.

La discussion des modes ou types d'organisation florale conduit donc directement à l'étude de la parenté des espèces et du mécanisme de la descendance.

*
* *

Vers 1838, le botaniste allemand Schleiden a donné une orientation nouvelle aux travaux de morphologie végétale en affirmant que tous les organes des plantes sont formés et dérivent de cellules. C'est à ce savant qu'il faut faire remon-

ter l'histoire des découvertes relatives à l'organisation cellulaire des végétaux.

On savait depuis Grew et Malpighi (1675) que le squelette des plantes est constitué par l'agencement de petites loges et de tubes ou trachées servant de vaisseaux conducteurs de la sève. Au début du XIXe siècle, Brisseau de Mirbel (1802) et Treviranus (1806) soutinrent avec force l'idée que toute l'organisation végétale peut s'expliquer par la formation de cavités (utricules) de dimensions restreintes et de formes différentes dans une masse homogène fondamentale. Hugo von Mohl (1830), par des investigations minutieuses et grâce à l'emploi de microscopes puissants, réussit à démontrer que les vaisseaux eux-mêmes sont des modifications d'utricules plus ou moins allongées, disposées en files, dont l'épaississement, ainsi que la transformation en tubes, est secondaire. L'unité anatomique des végétaux est donc, à partir de cette époque, l'*utricule,* c'est-à-dire la membrane cellulaire fermée et solide, entourant une masse liquide ou gazeuse, arrondie ou polyédrique ; ses principales modifications sont encore désignées par les termes de parenchymes, de tissus fibreux, de tissus ligneux et de tissus vasculaires.

Schleiden attira, au contraire, l'attention de ses contemporains sur le contenu cellulaire et il esquissa, dans sa *Contribution à la Phytogénèse* (1838), une théorie générale de la structure des végétaux bien voisine de celle qui est adoptée actuellement. « Il existe, dit-il, deux endroits
« i se prêtent particulièrement à la formation de
: ıveaux organes, ce sont le sac embryonnaire
« l'extrémité du boyau pollinique. » Il faisait

une erreur en admettant la formation de cellules dans le tube pollinique, erreur rectifiée par Unger (1844), partisan avec Schleiden de la multiplication cellulaire par la division successive des cellules dans les organes en voie de croissance.

On admettait encore que des cellules nouvelles pouvaient se former indépendamment et s'intercaler entre les cellules nées de la division ; Naegeli (1844-46) démontra bientôt que les cellules végétatives et reproductrices se forment toutes, et dans tous les cas, à l'intérieur de cellules préexistantes ; il fit ainsi triompher la théorie de Schleiden, débarrassée de ses erreurs : *le contenu cellulaire est plus important que le contenant*.

La forme des cellules, leur répartition en tissus est secondaire ; elle dépend strictement de leur situation dans l'organisme ; les cellules libres, celles qui naissent dans le sac embryonnaire, dans l'endosperme des graines, sont sphériques ou ellipsoïdales comme les Algues monocellulaires, les Levures, les spores des Cryptogames ; la forme des cellules organisées en tissus dépend, en partie, de la compression produite par les cellules voisines, en partie de l'orientation des plans de division qui donnent naissance à des cellules nouvelles dans les organes jeunes. Tels furent les principaux résultats de l'embryogénie anatomique, perfectionnée par Unger, Mohl, Naegeli, Braun et Hofmeister en Allemagne, et qui devint la partie la plus importante de l'enseignement de la botanique, tandis qu'on négligeait la morphologie et la systématique. La théorie anatomique (ou cellulaire) de l'organisation végétale, arrêté l'essor de la morphologie fondée sur l'o

gane élémentaire, le phyton, défini par Gaudichaud. Les laborieuses et remarquables monographies de Payer, de M. Van Tieghem, relatives à l'embryogénie de la fleur et du pistil peuvent être regardées encore comme des études particulières des organes, mais l'anatomie cellulaire y tient la première place.

Guidés par l'idée que les modifications des cellules résultent de leur situation relative dans la croissance de l'embryon, Trécul, de Bary, Vesque et surtout M. Van Tieghem et ses élèves ont accumulé une quantité énorme d'observations qui font de l'anatomie végétale comparée une science mieux coordonnée peut-être que l'anatomie comparée des animaux créée par Cuvier. Il y manque, pour la rendre féconde, l'interprétation philosophique que Geoffroy Saint-Hilaire a si bien mis en relief en zoologie ; c'est par une combinaison heureuse des résultats de la morphologie générale, de l'anatomie comparée, éclairés par les idées de la métamorphose des organes et de l'évolution des types que, récemment, MM. Goebel (1898) et Velenosky (1906-1910) ont renouvelé l'enseignement de l'Organographie.

*
* *

Le perfectionnement du microscope a déterminé en outre de rapides progrès dans la connaissance des végétaux inférieurs, dont on ignorait tout, ou à peu près tout, au début du XIXe siècle; en 1827, A. de Candolle décrivait encore le prothalle des Fougères comme un cotylédon. Les botanistes qui édifièrent la théorie cellulaire des végétaux supérieurs contribuèrent aussi pour la

plupart à mettre en lumière les véritables rapports des Cryptogames en y découvrant des organes sexuels plus ou moins comparables aux sacs embryonnaires et polliniques des Phanérogames.

En 1845, Thuret et M. Bornet décrivaient les organes sexuels des *Fucus* et démontraient par des expériences rigoureuses le rôle des anthérozoïdes dans la fécondation des ovules ; peu après, le comte Lecczyc Suminsky trouvait, sur les prothalles des Fougères, des anthéridies analogues à celles qu'Unger avait observées sur les Mousses et des archégones où se différenciaient les jeunes embryons de Fougères. Les études de Hofmeister (1851) sur les Sélaginelles et les Pilulaires fournirent les documents nécessaires pour établir une comparaison entre les cycles évolutifs des Cryptogames supérieurs, des Gymnospermes et des Angiospermes. Elles apportaient en même temps des arguments sérieux en faveur de l'idée d'une parenté réelle entre tous les êtres vivants.

Thuret et M. Bornet pour les Algues, de Bary pour les Champignons, et d'autres dressèrent donc des catalogues dont les divisions reposent en grande partie sur les caractères des organes reproducteurs et sur les cycles évolutifs ; leurs efforts ont été rapprochés de ceux de Linné dans l'édification de son *Système sexuel*. Mais ce n'est là qu'une apparence ; la classification des Thallophytes n'a rien de commun avec celle des Végétaux supérieurs, dont les espèces existaient avant Linné et qui furent seulement nommées par lui ; la Systématique des Cryptogames inférieurs reposant sur la nature des fonctions de nutrition (l'absence ou la présence de chlorophyll

sépare les Algues des Champignons) ou de reproduction, n'a aucune valeur phylogénétique, comme le montre bien l'étude des parasites animaux et végétaux ; à aucun titre, on ne peut la comparer à la Systématique des Phanérogames. Cette divergence dans les principes de la classification des végétaux inférieurs et supérieurs entraîne de graves erreurs, augmentées encore par le fait qu'on donne souvent des noms analogues ou identiques à des organes différents dans les deux groupes, en ne tenant compte que des fonctions ; peu à peu, on a ainsi attribué la valeur d'homologies à des rapprochements superficiels.

Pour éviter en partie ces difficultés, M. J. Massart[1] a récemment réuni les Champignons au groupe tout à fait inférieur des Rhizopodes, en accordant plus de valeur aux analogies protoplasmiques qu'aux caractères morphologiques et sexuels; les Algues sont au contraire rattachées aux Flagellés, organismes cellulaires pourvus de leucites, de vacuoles contractiles et considérés comme la souche commune aux animaux et aux végétaux. Au point de vue morphologique, les Algues présentent des différenciations protoplasmiques en rapport avec leur forme générale, leur croissance, leurs affinités, tandis qu'on peut trouver dans le même groupe tous les degrés de complication sexuelle.

On est donc conduit à imaginer, et tôt ou tard les investigations botaniques seront dirigées dans ce sens, une Classification naturelle des Thallophytes reposant sur la présence, la fréquence et

[1] *Sommaire du Cours de botanique*, Bruxelles, 1907.

la structure particulière des plastides, des vacuoles, des éléments figurés du protoplasma et des noyaux. D'ailleurs, des problèmes analogues ont été soulevés dans ces dernières années pour les organismes supérieurs, animaux et végétaux, à propos de la sexualité et de la transmission héréditaire des caractères.

*
* *

La notion de sexualité végétale ne s'imposait pas *a priori* et on a pu longtemps admettre un mode de multiplication des plantes différant de la reproduction animale; pourtant, la plupart des naturalistes contemporains de Linné étaient déjà convaincus de l'analogie des phénomènes de la fécondation dans les deux règnes : un siècle et demi de recherches a fourni la preuve que non seulement les manifestations extérieures, mais les caractères essentiels de la sexualité, sont identiques pour tous les êtres vivants.

Depuis Camérarius (1697) et Sébastien Vaillant (1717), les efforts des botanistes ont successivement établi le rôle fécondateur du pollen, la rareté de la parthénogénèse et, dans ces dernières années, l'équivalence des organes sexuels dans tous les groupes du règne végétal; les excès qui se traduisent par la substitution des termes microspore et macrospore à ceux de pollen et de sac embryonnaire montrent la tendance des naturalistes actuels pour qui la sexualité consiste seulement en un dimorphisme préparatoire du stade œuf par lequel commencent tous les indivi vivants. Les différences morphologiques séparent les Mousses des Prêles, des Fougè

des Gymnospermes et des Angiospermes ont disparu devant la découverte, dans chacun de ces groupes, de feuilles à microsporanges et de feuilles à macrosporanges. On a voulu étendre ce résultat aux Algues et aux Champignons; ici, il n'y a plus de feuilles, ni par conséquent d'organes modifiés en vue de la préparation des éléments sexuels; mais on a trouvé dans le contenu des cellules sexuelles elles-mêmes des éléments groupés dont la répartition et la combinaison subissent des changements analogues à ceux que l'on observe dans les cellules sexuelles des Phanérogames pour la production de l'œuf.

L'origine de cette découverte se trouve dans la discussion d'une hypothèse provisoire concernant l'évolution et l'hérédité, émise par Darwin en 1868; la *théorie de Pangénèse* n'a apporté aucun argument en faveur du Transformisme dont elle devait fournir l'explication, mais elle a conduit de Vries à découvrir les lois de l'osmose et Weissmann à énoncer la signification véritable et générale du mot sexualité.

Pour rendre compte de nombreux cas d'atavisme et de variation de bourgeons chez les plantes, Darwin admit que le contenu de leurs cellules n'est pas homogène, qu'il se compose de petites granulations ou *gemmules* représentant les caractères morphologiques et physiologiques des individus, des espèces; dans la croissance des cellules, les gemmules vivent pour leur propre compte, elles se multiplient par division comme les cellules, et s'organisent ultérieurement, selon ·r prépondérance dans telle ou telle cellule ou ıupe de cellules, en caractères visibles ou ents, grâce à une affinité élective entre gem-

mules de même nature. Darwin admit aussi que les gemmules pouvaient sortir des cellules, et circuler librement dant l'organisme, qualité qui permettait d'expliquer facilement l'hérédité des caractères acquis; mais tout ce que l'on savait de la cellule était contraire à cette migration, et cette objection, capitale pour Darwin, fit tomber immédiatement la Pangénèse en discrédit.

Cependant on découvrit successivement, dans le contenu cellulaire en apparence homogène, des éléments organisés et définis : le noyau décrit encore par Sachs (1874) comme une condensation du protoplasma, les corps chlorophylliens, les cristalloïdes, les grains d'amidon et d'aleurone, les cristaux d'oxalate de chaux et aussi les vacuoles. Naegeli essaya d'étouffer ces conceptions relatives à l'hétérogénéité du contenu cellulaire en imaginant les *micelles* (1845), éléments primaires équivalents qui se groupent de manières différentes et forment dans le protoplasma autant de groupes spéciaux qu'il y a de caractères; ils sont baignés par un ensemble de micelles non groupés ayant seulement un rôle nutritif; d'où la conception de deux plasmas, l'idioplasma, renfermant l'ensemble des groupes de micelles orientés, et le plasma nutritif indifférencié, plus fluide et plus imbibé d'eau. On y reconnut les caractère du noyau, baigné par le protoplasme, et, à partir de cette époque, le noyau devient l'organe cellulaire par excellence, porteur des caractères héréditaires.

Los *pangénes* de Hugo de Vries diffèrent essentiellement des micelles en ce sens qu'il n'existe autant qu'il y a de caractères et de qualités; ils correspondent plutôt aux gemmules d

Darwin, mais leur circulation se réduit à leur passage des noyaux dans le protoplasma ambiant sans sortir des cellules. Dans la *Pangénèse intracellulaire* (1878), de Vries nous montre que tous les noyaux d'un individu, résultant de la division du noyau de la cellule œuf, doivent posséder en quantité égale les divers pangènes; la différenciation d'une cellule correspond à la sortie de certains pangènes du noyau pour se répandre dans le protoplasma ambiant où ils peuvent se multiplier, s'accroître selon les circonstances plus ou moins favorables ; de leur nombre, grand ou faible, dépend l'activité ou la latence des caractères. Comme preuves, de Vries établit, par des expériences remarquables, que tous les organes cellulaires, les noyaux, les leucites, les vacuoles proviennent sans exceptions de la division de noyaux, de leucites, de vacuoles préexistants dans la cellule.

L'important ouvrage de Strasburger sur *La formation et la division des cellules*, paru en 1876, inaugura une série de progrès dans la connaissance de la constitution intime du noyau. Au repos, c'est un sac rempli de liquide où baigne un réseau de linine peu colorable supportant des grains de chromatine qui fixent fortement le carmin, le vert de méthyle, le violet de gentiane, etc.; il provient toujours de la division d'un noyau antérieur, soit par étranglement, soit par caryocinèse.

Ce dernier mode de division présente de telles ngularités, communes aux animaux et aux végéix, qu'on ne peut s'empêcher de leur attribuer e grande importance ; le réseau de linine se ntracte, s'épaissit et se fragmente en bâtonnets

ou *chromosomes*, dont le nombre est constant pour les différentes cellules d'un même organisme ; la membrane nucléaire disparaît, chaque chromosome se sépare en deux bâtonnets par une scission longitudinale et il en résulte des chromosomes filles qui se repoussent deux à deux et se groupent par portions équivalentes aux pôles de la cellule pour y reconstituer deux noyaux filles à réseau et à membrane nucléaires propres ; ainsi les éléments nucléaires eux-mêmes ne sont pas équivalents et ne proviennent pas d'éléments indifférenciés ; ils ont une existence propre, se continuent, s'accroissent, se fragmentent dans la multiplicité des cellules qui composent un individu, une lignée, une espèce.

De Vries fut tenté naturellement d'identifier ses pangènes avec les granules chromatiques des chromosomes ; Weissmann alla plus loin ; il nomma *ides* ces granulations qui se décomposent en *déterminants*, lesquels se décomposent eux-mêmes en *biophores*, unités vivantes fondamentales immédiatement supérieures aux molécules chimiques dont elles sont formées ; tous ces éléments jouissent des propriétés particulières aux êtres unicellulaires ; ils se nourrissent, s'accroissent et se multiplient par division en restant identiques entre eux. Weissmann compléta cette conception en y réintroduisant la notion suggérée par Naegeli relativement à l'existence de deux protoplasmes ; le morphoplasme peut se différencier sans qu'aucune de ses modifications retentisse sur l'idioplasme ou *plasma germinatif* ; celui-ci limité aux cellules sexuelles, se transmet id tique à lui-même à chaque génération.

Le succès de la théorie de Weissmann provi

en grande partie de ce qu'elle a provoqué la découverte, prévue par lui, de la *réduction chromatique*. Puisque les œufs résultent de la fusion complète noyau à noyau, protoplasme à protoplasme, de deux cellules qui renferment chacune un nombre déterminé de biophores (pangènes), il doit y avoir, dans chaque cycle évolutif de l'œuf à l'œuf, un stade où le nombre des biophores se réduit de moitié, sinon ce nombre doublerait à chaque génération. Pour tous les êtres vivants qui ont pu être étudiés à ce point de vue (animaux et végétaux), ce stade de réduction existe et correspond à la différenciation des éléments sexuels.

Ainsi la sexualité est générale et constitue un caractère propre aux êtres vivants ; elle correspond dans la vie de l'individu à une épuration ou à une rénovation du contenu cellulaire, car les cellules sexuelles se distinguent des cellules végétatives par la réduction de moitié du nombre des chromosomes. La caryocinèse assure la transmission complète et intégrale des caractères de la cellule mère aux deux cellules filles et la réduction chromatique nous apparaît comme une crise de croissance cellulaire ; les Weissmanniens prétendent que les circonstances qui accompagnent cette crise peuvent seules modifier l'hérédité.

*
* *

On admet donc actuellement que l'unité fondamentale morphologique est le chromosome dont individualité se conserve à travers toutes les caryocinèses ; cette unité morphologique est regardée d'ailleurs comme un complexe de bio-

phores ou de pangènes qui sont les unités héréditaires.

Durant la vie végétative, toutes les cellules d'un individu renferment le même nombre de chromosomes équivalents et tous les bourgeons, tous les fragments qui dérivent de la croissance d'un œuf, doivent posséder des tendances identiques. Cette conséquence est vérifiée par l'emploi des boutures, des greffes, des fragments de racines, de tiges, et même de feuilles, qui permettent de multiplier les parties d'une plante unique sur des espaces considérables et durant des siècles sans altération sensible des caractères. Une variation monstrueuse du Muscari à toupet, cultivée dans les jardins depuis plus de deux siècles, se propage sans changements, des dessins le prouvent, par la seule fragmentation de ses bulbes ; le nombre des fragments fournis par le monstre initial, qui ne donne jamais de fleurs, doit se compter par milliards.

La réduction chromatique qui accompagne la préparation des éléments sexuels et la fusion ultérieure de ces éléments sexuels introduisent dans l'équilibre cellulaire des changements assez considérables pour que les plantes issues de la fusion des cellules sexuées d'une même fleur (autogamie) présentent une variabilité de caractères beaucoup plus grande que celle des divers bourgeons de la même plante mère. La lignée pure, provenant d'autofécondations successives, constitue cependant un groupe homogène, regardé en principe comme définissant l'espèce : « Nous prétendons, a dit Linné, que, dans l'origine de choses, il fut créé uniquement deux sexes d toutes les espèces d'êtres vivants. » Le croise

ment, c'est-à-dire la réunion illégitime de cellules sexuées appartenant à des lignées différentes, entraîne, au contraire, des troubles profonds dans l'équilibre cellulaire et détermine peut-être dans l'œuf qui en résulte des perturbations héréditaires, c'est-à-dire des changements d'espèces.

Les auteurs qui ont traité avec le plus d'ampleur le problème de l'hybridation, Charles Naudin (1863) et Gregor Mendel (1866), ont cependant été conduits indépendamment, par leurs études des hybrides végétaux, à admettre le retour complet des descendants d'unions illégitimes à l'une ou à l'autre forme initiale ; on peut avoir momentanément un mélange des qualités et des caractères des parents, mais les essences spécifiques tendent toujours à se séparer. En voici un exemple frappant :

On connaît depuis longtemps, et on trouve parfois en abondance dans les marais, une petite plante carnivore, le Rossolis intermédiaire (*Drosera intermedia*) considéré comme l'hybride fertile du Rossolis à feuilles rondes (*D. rotundifolia*) et du Rossolis à feuilles longues (*D. longifolia*) ; les noyaux des cellules végétatives de ces deux dernières espèces renferment 40 et 20 chromosomes, ceux de l'hybride 30 chromosomes. On pouvait imaginer que cette dernière forme se comporterait comme une véritable espèce et donnerait des cellules sexuelles à 15 chromosomes ; Rosenberg (1905) vient de prouver qu'il n'en est rien ; il a découvert dans les anthères de l'hybride des cellules à 10 et des cellules à 0 chromosomes ; la rénovation cellulaire qui se traduit par la réduction chromatique détermine la

réapparition des groupements nucléaires caractéristiques des deux espèces.

Parfois cependant, l'hybridation entraîne la stérilité, ou encore, une pseudo-parthénogénèse; la plupart des Groseilliers hybrides sont stériles et il y a de fortes chances pour que les Épervières (*Hieracium*) et les Alchimilles parthénogénétiques aient toutes une origine hybride ; ici, les cellules sexuelles avortent; des cellules végétatives, annexes des cellules sexuelles, se substituent aux sacs embryonnaires, s'y organisent en pseudo-embryons qui ne sont que des bourgeons particuliers.

Les hybrides très féconds sont actuellement étudiés sous le nom d'hybrides mendéliens; ils correspondent à des combinaisons d'individus que Linné groupait dans la même espèce et dont les différences, très nettes mais peu importantes au point de vue de l'organisation générale, peuvent se mettre en évidence sous la forme de couples de caractères correspondants. Les hybrides de variétés sont appelés, pour cette raison, hybrides équilibrés, et, en général, leur descendance fait retour immédiatement aux parents dont ils dérivent.

Dans cet ordre d'idées, il existe une analogie frappante entre les problèmes de l'hérédité et les problèmes de la chimie. Les espèces vivantes sont de véritables équilibres chimiques dont les réactions et les propriétés ne changent guère si on substitue l'un à l'autre des caractères accouplés. De même que la substitution du sodium au potassium dans un Sulfate n'entraîne aucun changement sérieux dans la cristallisation, dans l'aspect et d. la saveur de ce sel, de même, la substitution liquide protoplasmique coloré (anthocyanine)

liquide incolore, que l'on réalise en fécondant un Pois à fleurs blanches par le pollen d'un Pois à fleurs rouges, n'entraîne aucun changement, ni dans la taille, ni dans la fertilité, ni dans la nature des réserves, c'est-à-dire l'ensemble des autres qualités du Pois. Ainsi, la loi de Mendel est l'équivalent de la loi de Laurent et Dumas en chimie : « Dans les molécules chimiques (ou les équilibres vivants), les corps simples (ou les caractères qui peuvent s'accoupler) se substituent les uns aux autres, atome pour atome (pangène pour pangène), sans que l'équilibre général de la molécule (ou de l'organisme) soit altéré. »

Pour aboutir à ce résultat, il a fallu, en chimie, admettre l'indépendance absolue des corps simples et une constitution atomique particulière à chacun d'eux ; en biologie, il a fallu affirmer l'indépendance absolue des caractères des organismes et concevoir leur existence matérielle sous la forme de pangènes ou de biophores indestructibles ; dans l'une et l'autre science, il a fallu admettre l'impossibilité de la transmutation des corps et des caractères.

Le problème de l'hérédité, tel que le posent les mendéliens, renferme donc, comme cas particulier bien étudié, l'ensemble des sciences chimiques. Mais il présente encore beaucoup d'obscurités, parce qu'on n'a guère pu, avant ces dernières années, traiter à part l'hérédité et le transformisme, le discontinu et le continu, la chimie et la physique des corps organisés

*
* *

n proposant aux naturalistes d'admettre l'hy-

pothèse du transformisme, Darwin a contribué autant que Linné à donner une impulsion nouvelle à l'étude des êtres vivants.

Petit-fils du savant Érasme, fils d'un médecin nabile, Charles Darwin disposa très jeune d'une belle fortune et put faire à ses frais une expédition scientifique autour du monde; il ne professa jamais, et n'eut même pas d'élève, mais il observa, réfléchit, travailla pendant trente années avant de publier son livre sur l'*Origine des espèces* (1859). Naturaliste amateur, il fut successivement géographe, géologue, zoologiste, puis botaniste, et ses meilleurs travaux concernent les plantes; il organisa, dans sa maison particulière à Down, un petit laboratoire où il travailla seul, lisant peu le français et mal l'allemand; c'est dans cette retraite qu'il a mis au point sa *conception du transformisme*, adoptée aujourd'hui par tout le monde. Il y a un contraste entre les vies de Linné et de Darwin ; mais l'opposition est encore plus forte lorsqu'on compare leurs doctrines, adoptées cependant par tous les naturalistes, la première par nécessité, et la seconde, à cause de sa beauté.

Linné a divisé le règne des êtres organisés en éléments irréductibles les uns aux autres et les a répartis en un système commode ; il a imposé à tous la notion de discontinuité dans les productions de la nature, où les minéraux, les végétaux et les animaux sont trois degrés d'une hiérarchie établie dès l'origine des choses. Darwin, au contraire, nous fit concevoir une parenté idéale entre tous les êtres vivants : les organismes évoluent les espèces actuelles dérivent de celles qui ont vécu antérieurement ; ses disciples, revenant au

« folies » de Lamarck, affirment l'identité des lois qui régissent le monde des pierres, des plantes et des bêtes.

Nous avons vu comment la notion de l'indépendance des caractères transforme les problèmes de la biologie en problèmes de chimie. Le principe de la descendance, d'une origine commune à tous les êtres vivants, introduit par Darwin en biologie, est l'équivalent de la notion d'unité, de continuité, qui domine toute la physique moderne.

La discontinuité des formes, d'après Darwin, n'est qu'une apparence ; entre deux organismes quelconques, on peut trouver la série des intermédiaires. Ces intermédiaires sont plus ou moins rares, il est vrai ; mais leur nombre importe peu, car ils ont été éliminés et le sont encore par la concurrence vitale qui conserve seulement les formes les mieux douées. La chaleur, le vent, la pluie qui détruisent les roches, rasent les montagnes et comblent les mers peuvent isoler les groupes d'individus adaptés : ce sont les espèces actuelles. La continuité explique l'identité des caractères de la sexualité, de la constitution cellulaire, des phénomènes de croissance et de mort dans les deux règnes. Il existe même une infinité d'êtres qu'on ne sait où classer ; ils sont formés par une ou quelques cellules, se meuvent comme les animaux, mais s'enkystent périodiquement dans une carapace de cellulose, comme les végétaux.

La doctrine darwinienne eut pour résultat de munir des cadres nouveaux à l'activité des botanistes. La répartition géographique des végétaux était qu'un catalogue où figurait chaque espèce,

étudiée, comme un composé chimique, au point de vue des optima, des minima et des maxima de température qu'elle pouvait supporter ; la géographie botanique devint la science des adaptations. La chaleur, l'humidité, le vent, la lumière, les terrains modifient le port et les tissus des plantes et les changements produits par des facteurs analogues sur des organismes divers sont analogues ; on peut en reproduire les traits essentiels dans des expériences de courte durée faites dans les laboratoires. L'étude combinée des facteurs modifiant les conditions d'existence, des migrations, du transport des graines par le vent ou les animaux, et aussi la connaissance des flores antérieures, a permis de déduire les principaux caractères des grandes zones de végétation ; la vie dans les océans a été répartie dans des domaines abyssal, superficiel et littoral à formes particulières. Tous les êtres non adaptés ont disparu dans la lutte pour la vie.

Par ses travaux sur les orchidées, sur les plantes grimpantes, sur les plantes carnivores, Darwin a montré comment on pouvait expliquer la fixation de caractères morphologiques et anatomiques favorables à la croissance ou à la multiplication ; après lui, les physiologistes ont voulu, par exemple, attribuer la distribution régulière des feuilles sur les tiges à une meilleure utilisation des feuilles pour l'assimilation et la transpiration et ramener les problèmes de l'organographie végétale à des problèmes d'adaptation ; c'est surtout dans l'étude des caractères de la fleur et de la dissémination des graines que l'ingéniosité des émules de Darwin fut remarquable.

La biologie florale est née de l'effort colossal fait depuis cinquante années pour mettre en évidence les avantages de la fécondation croisée sur la fécondation directe, en ce qui concerne la vigueur et la qualité des produits; Konrad Sprengel (1793) dans son ouvrage sur *Les secrets de la nature découverts dans la structure et la fécondation des fleurs*, avait déjà montré, dans l'étude du même sujet, beaucoup de finesse et de science, mais cet effort isolé, ne se rattachant à aucune conception générale, fut méprisé par les naturalistes contemporains. Darwin consacra dix de ses années de travail à cette question qu'il traita en trois ouvrages remarquables. Il réussit à convaincre de suite deux de ses correspondants et admirateurs de l'importance du sujet : Asa Gray, dans l'Amérique du Nord, et Fritz Müller, dans l'Amérique du Sud, accumulèrent les observations. Leurs efforts, limités en somme, comptent à peine auprès des résultats obtenus par Herman Müller (1873) qui put établir une corrélation étroite entre le perfectionnement des organes des insectes visiteurs et des fleurs visitées et par Frédéric Delpino (1868-75) qui montra comment, dans les familles et dans les groupes de familles, sont apparus successivement les divers types de structure florale.

Dans tous les domaines de l'activité des naturalistes, l'influence de la doctrine darwinienne s'est traduite par des essais de reconstitution historique de la différenciation des formes; les affinités sont décrites sous le nom de filiation et tous les chapitres relatifs à la botanique systématique, à la répartition géographique des espèces, aux variations de structure des organes

se terminent par une conclusion relative à la phylogénie des groupes étudiés. A la Classification naturelle de Bernard de Jussieu, on veut substituer une Classification reposant sur la parenté ; au lieu de « peser les caractères » et de déterminer leur importance d'après leur fréquence relative, méthode propre aux sciences chimiques, on établit des séries de variations dans le même sens, on cherche la continuité et la filiation.

*
* *

Dans cet exposé des méthodes utilisées pour l'étude des végétaux, j'ai souvent été amené à faire voir les analogies des sciences naturelles et des sciences physiques et chimiques. Il est bien connu qu'un progrès quelconque, dans l'un de ces domaines de l'activité intellectuelle, a un retentissement immédiat dans l'autre ; mais on ignore souvent que les découvertes sont surtout l'expression des idées dominantes de l'époque.

Les divergences d'objet, de méthodes et de principes qui éloignent la physique de la chimie ne tarderont pas à apparaître dans les sciences naturelles, dès qu'on aura nettement distingué, dans les êtres vivants, le continu du discontinu. C'est ce vers quoi tendent les nouvelles générations de biologistes, et l'ancienne répartition en zoologistes et en botanistes paraît devoir s'atténuer, tandis que se différencient nettement la biométrique et la génétique, physique et chimie des êtres organisés.

L. BLARINGHEM,
Chargé de cours à la Sorbonn

LA MÉTHODE EN ARCHÉOLOGIE

Le composé grec ἀρχαιολογία (science des choses anciennes) date d'une époque antérieure de bien des siècles à celle où l'archéologie, telle que nous l'entendons aujourd'hui, est devenue une science[1]. L'étymologie, c'est-à-dire l'analyse de ce mot, ne peut donc fournir qu'une indication tout à fait générale sur l'objet de la science ainsi désignée.

L'auteur du plus vaste ouvrage d'archéologie qui ait jamais été publié par un seul homme, Bernard de Montfaucon, intitula son recueil *L'Antiquité expliquée par les monuments* (1719-1724). C'était là, pour l'illustre bénédictin, la définition de l'archéologie. Le mot *monuments* nous semble aujourd'hui un peu vague, car une œuvre littéraire, une charte peuvent être qualifiées de *monuments* au même titre qu'une statue ou une peinture. Depuis Raoul Rochette, qui paraît avoir introduit cette expression, on dit *monuments figurés*, par opposition à *monuments littéraires*. Il est aussi question d'*antiquité figurée*,

1. Voir les textes antiques sur l'emploi des mots ἀρχαιολογία et ἀρχαιολογεῖν dans B. Stark, *Systematik der Archæologie der Kunst*, Leipzig, 1880, p. 49. On y trouvera aussi les exemples anciens du mot *antiquarius* (antiquaire).

expression qui a été créée par Millin en 1811 et qui est également très heureuse. On pourrait donc dire que l'archéologie est l'explication de l'antiquité par les monuments figurés.

Cette définition ne précise pas les limites chronologiques entre lesquelles est comprise l' « antiquité ». Dans l'usage courant, l'archéologue est celui qui étudie, au point de vue particulier des objet ouvrés, les civilisations *antérieures à la fin du moyen âge*, c'est-à-dire à la prise de Constantinople par les Turcs, qui fit disparaître le dernier débris de l'Empire romain. Mais, depuis une trentaine d'années, on tend à élargir davantage le domaine de l'archéologie. Puisqu'on parle maintenant de l'archéologie de la Renaissance, de l'archéologie chinoise ou japonaise, il n'y a aucune raison d'exclure de l'archéologie l'étude des monuments du XVIIIe et même du XIXe siècle. Chaque instant qui s'écoule appartient au passé; *hoc quod loquor inde est*. Je propose donc de définir l'archéologie : « L'explication du passé par les monuments ouvrés » ; il ne semble pas qu'il y ait d'équivoque possible sur la signification de ces derniers mots.

C'est trop peu dire que l'archéologie touche à l'histoire des arts : elle l'embrasse tout entière, en ne laissant en dehors de son domaine propre que l'histoire des artistes. L'épigraphie et la numismatique relèvent plutôt de la philologie et de l'histoire; mais l'étude des types monétaires, comme celle de la partie décorative des inscriptions, appartient à l'histoire de l'art et de l'industrie, c'est-à-dire à l'archéologie proprement c

L'archéologie demande des éclaircissemen des sciences dont l'objet est tout différent

sien, mais qui touchent par quelques points à son domaine. Par exemple, elle fait appel à la géologie, à la paléontologie, lorsqu'elle cherche à dater, du moins d'une façon relative, les plus anciens produits de l'industrie humaine; elle a recours à la minéralogie, à la chimie, à l'architecture, au génie civil, lorsqu'elle s'applique à désigner exactement la matière des monuments qu'elle étudie, à rendre compte de leurs altérations superficielles, à mettre en lumière les combinaisons dont ils ont été l'objet sous la main de l'architecte ou de l'ingénieur. Mais la science dont l'archéologie a le plus continuel besoin est l'histoire — histoire politique, littéraire, scientifique, religieuse; on peut dire qu'un archéologue non historien n'est qu'à moitié archéologue. Gerhard exigeait même qu'un archéologue fût un spécialiste en mythologie, c'est-à-dire dans l'histoire des mythes. Il est évident que l'explication des monuments *ouvrés* du passé humain exige la connaissance des documents *littéraires* qui revèlent ce passé avec le plus de précision et de détail; appuyer cette vérité par des exemples serait prendre une peine superflue.

On a dit souvent, depuis Charles Lenormant, que l'archéologie est l'explication des textes par les monuments et des monuments par les textes. Prise à la lettre, cette formule exclurait de l'archéologie le vaste domaine de l'archéologie préhistorique, où l'étude des monuments a précisément pour but de suppléer à l'absence de textes. Toutefois, le *préhistorien* lui-même ne peut pas faire complètement abstraction des témoignages écrits. Il doit invoquer le secours de l'archéologie ethnographique, appelée plus simplement

ethnographie — qui dispose non seulement de monuments, mais de textes — pour expliquer les objets qu'il étudie par les témoignages de voyageurs qui ont vu des objets similaires en usage chez les « primitifs » de nos jours. Inversement, un commentaire archéologique complet de témoignages d'ordre ethnographique comporte, dans une certaine mesure, l'appel aux monuments du passé le plus lointain. Avec ces réserves, la définition de Lenormant peut être retenue; elle a l'avantage de marquer nettement la corrélation étroite qui existe entre les documents littéraires et les monuments de l'industrie ou de l'art.

* * *

Qu'entend-on au juste par *expliquer* un monument? Ce mot peut être pris au sens étroit et au sens large. Mais *expliquer* n'est pas *dénommer*.

En présence d'une coupe grecque à figures rouges, par exemple, l'archéologue ne se contente évidemment pas d'en reconnaître l'usage pratique, de la qualifier de *coupe*. L'explication intégrale d'un pareil objet, telle qu'elle doit être résumée dans le catalogue scientifique d'une collection, comporte l'élucidation préalable de plusieurs questions, posées, pour ainsi dire, par l'objet lui-même : 1° La désignation antique du vase et l'indication de l'usage auquel il a servi; 2° Sa provenance et son histoire, c'est-à-dire la détermination du lieu où il a été découvert, des collections par lesquelles il a passé; 3° Son authenticité réelle ou partielle (restaurations); 4° L'interprétation des ornements, des scènes mythologiques ou autres qui le décorent, d

inscriptions qui peuvent y être peintes ou gravées; 5° Sa date. — Ainsi, l'explication de cette coupe grecque exige que l'archéologue soit familier avec la vie privée des Hellènes, avec l'histoire des fouilles et des collections (topographie artistique), avec les critères techniques qui permettent de distinguer le travail des restaurateurs et des faussaires, avec la chronologie des ateliers grecs et leur distribution géographique, avec l'histoire de l'ornement, la mythologie et l'épigraphie. Ce sont là des connaissances très variées que seule l'existence de bons manuels permet aujourd'hui d'acquérir en quelques années; encore faut-il souvent que l'archéologue demande conseil au chimiste, au mythologue, à l'épigraphiste, au grammairien, s'il veut serrer d'aussi près que possible la vérité.

*
* *

En tête de son célèbre *Rapporto Volcente*, touchant la découverte, faite à Vulci, de la plus riche collection de vases qui ait encore été exhumée, Edouard Gerhard inscrivait cette devise : *Monumentorum artis qui unum vidit, nullum vidit; qui mille vidit, unum vidit.* Sous une forme un peu paradoxale, le savant céramographe exprimait une vérité de tous les jours : seule, la *comparaison des monuments,* conduisant à la *constitution de séries*, permet d'assigner à un objet la vraie place qui lui revient, comme aussi d'expliquer ce que nous n'y entendons point du premier coup par les clartés que les objets similaires peuvent nous fournir.

Il y a bien des manières de constituer des

séries. Par exemple, dans un lot de vases grecs, on pourrait mettre à part les grands et les petits, ceux qui ont un pied et une anse et ceux qui n'en ont pas, ceux où paraît la palmette et ceux où elle fait défaut, etc. Ces classements seraient sans intérêt, parce que les indices choisis comme principes de groupement ont un caractère accidentel. Au contraire, en prenant pour critère la couleur noire ou rouge des figures, la présence ou l'absence de rehauts blancs ou pourpres, le caractère géométrique ou non géométrique du décor, etc., on obtiendra des classements scientifiques, chose d'ailleurs plus difficile qu'il ne paraît, car il faut savoir associer des objets qui présentent des caractères très dissemblables lorsqu'un seul caractère, jugé essentiel et typique, leur est commun.

La plupart des monuments antiques nous sont parvenus mutilés ou frustes ; d'autre part, ils sont très rarement seuls de leur espèce. On conçoit donc qu'un objet bien conservé, ou daté par une inscription, ou dont les figures sont désignées par des inscriptions, puisse jeter des flots de lumière sur les différentes séries dans lesquelles il est possible de le classer. Même si un objet est en parfait état, la considération de cet objet isolé sera peu instructive ; il ne prendra toute sa valeur, il ne deviendra un document archéologique — au lieu d'un bibelot — que lorsqu'il aura été inséré à son rang légitime dans les groupes divers auxquels ses caractères le rattachent.

Tout cela semble très simple ; mais on a mis du temps à s'en aviser. L'archéologie a commencé par isoler l'individu de l'espèce, le spécimen

la série; les collectionneurs qui ne sont pas archéologues le font encore. Par exemple, dans une planche de grand ouvrage de Montfaucon (*Suppl.* III, 77, 4), une fibule mérovingienne d'un type aujourd'hui bien connu figure comme « instrument de musique »; l'auteur dit bien, dans son texte, que la désignation proposée est inacceptable, mais il ne reconnaît pas celle qui s'impose, parce qu'il n'avait pu encore, pionnier de la science à ses débuts, réunir, du moins sur le papier, les séries d'agrafes qui retracent l'histoire et les transformations si variées de cet objet.

C'est surtout dans l'exégèse des statues antiques, qui nous parviennent non seulement mutilées, mais restaurées, que l'étude des *répliques* est indispensable et conduit à d'intéressants résultats. La grande majorité de nos statues sont des copies plus ou moins libres, faites à l'époque impériale romaine, d'après des chefs-d'œuvre de l'art grec. Il est telle statue grecque dont nous possédons une centaine de répliques romaines, comme il est des textes classiques dont nous possédons cent manuscrits, lointains dérivés de l'original perdu. Bursian et Brunn ont enseigné avec raison que l'archéologue doit étudier les répliques d'une sculpture comme le philologue étudie les manuscrits d'un auteur. Dix manuscrits inégalement et diversement mutilés, interpolés ou corrompus permettent de remonter à l'archétype; c'est par la même méthode, appliquée aux œuvres plastiques, qu'on a [illegible], surtout à l'*Albertinum* de Dresde[1], restituer plâtre des chefs-d'œuvre dont toutes les copies

[1] Cf. *Gazette des Beaux-Arts*, 1902, I, p. 141.

existantes sont mal restaurées ou à l'état de fragments.

Furtwaengler, élève de Brunn, a été plus loin dans la voie ouverte par son maître. Il a démontré que beaucoup de répliques antiques avaient elles-mêmes été exécutées d'après des plâtres, moulés dans l'antiquité même sur les originaux [1]. J'ai, de mon côté, donné des raisons de croire que cette opération de surmoulage a été autorisée seulement pour les bronzes, tandis que la fragilité de la matière et la polychromie interdisaient de la faire subir aux marbres [2]. C'est pourquoi les grands bronzes grecs, si rarement venus jusqu'à nous à cause de la valeur du métal, nous sont pourtant aujourd'hui mieux connus, par d'anciennes copies en marbre, que les marbres et les statues chryséléphantines célébrées par les anciens.

Au musée de Bologne, Furtwaengler avait remarqué un buste d'Athéna qui lui parut présenter tous les caractères de l'art attique du milieu du ve siècle ; cette tête avait été considérée comme virile par les uns, comme moderne par d'autres ; mais Furtwaengler y reconnut la copie romaine d'un chef-d'œuvre et s'en procura le moulage. A l'aide de ce moulage, il compléta le moulage d'une Athéna mal restaurée du musée de Dresde, fit constater que les deux plâtres s'adaptaient parfaitement et rendit ainsi à l'histoire de l'art une statue d'Athéna qui, si elle n'est pas la *Lemnienne* de Phidias, comme il l'a cru, est du moins une des œuvres les plus remarquables du même temps [3].

1. Cf. *Revue critique*, 1897, I, p. 46.
2. S. Reinach, *Cultes*, t. II, p. 346.
3. Cf. *Revue critique*, 1894, I, p. 97-116.

En analysant les différentes phases de cette découverte, qui suffirait à mettre Furtwaengler au premier rang des archéologues, on reconnaîtra qu'elle n'a été rendue possible que par l'application de la *méthode des séries*. La tête de Bologne prit de l'importance, aux yeux de Furtwaengler, parce que les proportions, les conventions dans le rendu de la forme[1], l'expression même, lui assurent une place dans la série des têtes grecques du ve siècle et, en second lieu, dans la série des types d'Athéna. La statue mal restaurée de Dresde, dépouillée de ses restaurations, devint à son tour comme un anneau dans la longue chaîne des images de la déesse ; Furtwaengler en rapporta l'original au milieu du ve siècle, parce qu'il l'inséra sans peine, d'après le style des draperies et les proportions, dans la série des œuvres certaines de ce temps-là. Assurément, la tête et le torse auraient pu appartenir à deux statues contemporaines, mais différentes ; la découverte finale est due à la chance, à la bonne étoile de l'archéologue ; mais cette chance a été préparée de longue date et comme sollicitée par une suite d'opérations intellectuelles, inspirées de la *méthode des séries*.

Depuis la multiplication des musées de moulages et des photographies de grande dimension, bien d'autres reconstitutions de ce genre ont été tentées ; bien d'autres récompenseront sans doute les chercheurs, s'ils apportent à ce genre de tra-

1. Ces détails du rendu (toujours un peu conventionnel) de la forme ont fourni à Morelli, sénateur italien (mort en 1891), des critères très utiles pour l'attribution des peintures italiennes de la Renaissance. Furtwaengler fut un des premiers à les appliquer d'une manière conséquente à l'étude des sculptures antiques.

vail, toujours un peu hasardeux, le *sentiment du style* qui ne s'enseigne pas, mais dont Brunn, Furtwaengler, Heuzey, Léchat, etc., ont donné de mémorables exemples. Il est assez probable que nous possédons, sous forme de copies tardives, de reliefs, de types monétaires, d'intailles, presque tout le trésor de la statuaire antique ; il s'agit de le reconstituer par la réunion des *disjecta membra* ; il s'agit aussi de comparer ces restitutions avec les textes très nombreux où les anciens ont décrit les œuvres d'art connues de leur temps, pour rendre à chaque artiste ou du moins à chaque école les originaux que l'étude des répliques et imitations laisse entrevoir. C'est ainsi que Friederichs a identifié avec certitude le *Doryphore* de Polyclète, que Helbig a reconnu son *Diadumène*, Collignon son *Kyniskos*, etc. [1].

Comme toute bonne méthode, celle des séries a conduit à des abus. En présence d'un objet qu'il doit comprendre et classer, le premier devoir de l'archéologue est, comme nous l'avons dit, de l'affilier à des groupes d'objets semblables ; mais ce travail qu'il fait pour lui, en vue de la restitution, de l'interprétation ou du classement chronologique de l'objet, ne doit pas être mis, dans tous ses détails, sous les yeux du public. L'archéologie a longtemps péché par cet excès, tout comme la philologie appliquée à l'édition des textes. Dans les *Variorum* du XVIIe siècle, le philologue triomphe par l'énumération de « passages parallèles » qu'il a eu sans doute raison

1. Michaelis a donné une liste sommaire de ces identificati dans son ouvrage *Ein Jahrhundert kunstarchæologischer Entdeck gen*, 2e éd., p. 301 et suiv.

de recueillir, mais dont il devait faire grâce à ses lecteurs. Alors que cette manie de citer, qui enfle démesurément les livres, commençait, grâce à Godefroid Hermann, à passer de mode dans l'*ecdotique*, elle florissait dans l'archéologie figurée ; il suffit d'ouvrir un des volumes du *Compte rendu de la Commission impériale de Saint-Pétersbourg* pour voir à quelles débauches d'érudition inutile s'est laissé aller un Stephani. L'excuse de ces archéologues, insatiables de *confer*, c'est que la science d'alors ne disposait pas de répertoires comparables à ce que sont les *Thesaurus* des Estienne pour la connaissance des langues classiques. Aujourd'hui, à défaut de *Thesaurus*, il existe, du moins pour l'antiquité, de grands dictionnaires — ceux de Saglio, Roscher, Pauly, etc. — qui non seulement dispensent les archéologues d'étaler leur matériaux, mais permettent de juger sévèrement ceux qui le font.

*
* *

L'activité d'un archéologue peut s'exercer de deux manières principales : dans le cabinet et sur un champ de fouilles. L'*archéologie militante* est une excellente préparation à l'autre. Les meilleurs archéologues de notre temps ont été successivement des « fouilleurs » et des « exégètes » ; il est utile de savoir comment on découvre des objets et dans quel état ils reparaissent au jour avant d'appliquer la *critique* et l'*herméneutique* à ceux qu'offrent les musées ou qu'apporte le commerce. Ce que je dis vaut presque exclusivement pour l'archéologie des époques antérieures à la fin du moyen âge, car, pour des motifs

faciles à comprendre, on ne fouille guère les villas italiennes de la Renaissance, ni les sépultures françaises du XVIIIe siècle. Toutefois, des explorations de ce genre, conduites sur les emplacements d'ateliers céramiques abandonnés depuis le XVIe siècle, ont déjà donné de bons résultats.

Fouiller en terrassier n'est pas fouiller en archéologue. Fouiller en chercheur d'objets de vitrine n'est pas fouiller en archéologue. Les sites les plus intéressants du monde antique ont été dévastés plutôt qu'explorés par des chercheurs de trésors qui se croyaient à tort des archéologues. Le mal ainsi fait par des dilettantes ou des savants paresseux est d'autant plus grand qu'il est absolument irréparable. Il n'y a qu'*une* Troie, *une* Ostie, *une* Pompéi ; quand les ravageurs ont bouleversé un emplacement illustre, il faut renoncer pour toujours à en tirer tous les enseignements qu'il réservait à notre curiosité. Aussi, en divers pays, tout d'abord dans les pays scandinaves, puis en Italie, en Grèce, en Turquie, dans l'Allemagne du Nord, les fouilles de spéculation ont été interdites par des lois et les fouilleurs sans compétence soumis au contrôle de délégués de l'Etat. Malheureusement, l'appât du gain, parfois aussi celui d'une sorte de *sport*, l'emporte sur la crainte d'une amende : le vandalisme des fouilles s'exerce un peu partout et des milliers d'objets arrivent sur le marché sans provenance précise, sans état civil, ce qui leur enlève, aux yeux de la science, une partie de l r valeur. En France, un grand nombre de caver s de l'âge du renne, le plus grand nombre s cimetières romains et mérovingiens ont été t

sont encore saccagés ainsi. Le seul remède à ce mal est de multiplier le plus possible les fouilles surveillées, conduites pour le compte de l'Etat ou de sociétés savantes, de manière à sauver non pas les objets — qu'une cupidité avertie empêche généralement de détruire — mais ce qu'on pourrait appeler les archives du sol.

*
* *

Dans une fouille bien conduite, en effet, ce qui importe plus que les objets à découvrir, ce sont les informations que l'étude des couches (stratigraphie) ou celle des objets découverts *par groupes* peuvent fournir pour leur classement chronologique. C'est la fouille par couches des limons de la Somme, des cavernes de l'âge du renne, des palaffittes des lacs de Suisse, qui a permis d'établir les principes de la succession des époques industrielles, depuis les temps les plus reculés jusqu'à l'âge du fer. C'est la fouille par couches des débris accumulés sur l'Acropole d'Athènes qui a révélé la chronologie des céramiques grecques de la belle époque et prouvé que la fabrication des vases à figures rouges, dont on plaçait les débuts vers l'an 480, remonte, en réalité, au dernier quart du VIe siècle. Il est inutile d'accumuler les exemples; mais je dois donner ici une idée des méthodes qui ont conduit Oscar Montelius, par l'étude de produits de fouilles bien faites, à classer d'une manière qui [illegible]aît définitive les plus anciens objets en métal [illegible] nous possédions[1].

O. Montelius, *Die aelteren Kulturperioden im Orie t nud iu*

Soit une trouvaille d'objets d'usage ou de parure faite dans un milieu homogène, par exemple une tombe, une cachette de fondeur, une couche bien déterminée d'une station lacustre. Ces objets ne sont pas tous *nécessairement* contemporains ; mais si on les rencontre une, deux, trois, *n* fois ensemble, il deviendra non seulement vraisemblable, mais certain qu'ils appartiennent à la même époque. Les objets beaucoup plus anciens ou beaucoup plus récents, recueillis dans une même trouvaille, seront éliminés par l'application même de la méthode.

Soit donc une statistique de trouvailles comprenant des objets de types divers, ABC, BCD, CDE. Si le nombre des trouvailles sur lequel on raisonne est élevé (et il est toujours grand quand c'est un Montelius qui opère), on pourra conclure avec certitude que les types ABC sont contemporains, que D est plus ancien ou plus récent que ABC, que E est plus ancien ou plus récent que ABCD, que D appartient à une période contiguë à celle de ABC, que E est séparé de ABC par toute une période. On formera ainsi des tableaux comprenant *n* types, dont quelques-uns seront manifestement contemporains, tandis que les autres seront plus ou moins éloignés de ce groupe initial, suivant que leurs éléments se seront rencontrés plus ou moins rarement avec ceux du groupe initial ou les groupes qui ont des éléments communs avec celui-ci.

Pour résoudre la question qui se pose maintenant : *Avant ou après* ? — une autre considé a-

Europa. Die Methode, Stockholm et Berlin, 1903. Je reproduis ici une partie de l'article que j'ai consacré à cet ouvrage capital dans la *Revue critique*, 1904, II, p. 462-3.

tion doit entrer en jeu : c'est celle de l'évolution des types (*typologie*). L'histoire de l'industrie moderne, telle qu'elle a été constituée, par exemple, au Musée Pitt-Rivers d'Oxford, prouve de la manière la plus évidente que les types évoluent, que leur histoire est celle du passage du simple au complexe et aussi de l'organique au schématique. Elle prouve que si deux types — d'agrafes, par exemple — diffèrent par ce caractère qu'un élément est organique dans l'un et décoratif dans l'autre, c'est le type à élément décoratif qui est le plus récent. L'industrie, comme la nature, connaît des organes atrophiés. Ainsi, par la seule étude des objets répondant aux mêmes besoins pratiques dans la série ABCDE, etc., on peut résoudre avec certitude la question d'antériorité ; les groupes d'images afférentes se classent naturellement suivant une chronologie *relative*.

Pour passer de la chronologie relative à la chronologie *absolue*, on dispose aujourd'hui des relations et des résultats des fouilles faites à Mycènes, à Athènes, en Crète, qui permettent d'établir des synchronismes entre certains types grecs protohistoriques et des objets égyptiens approximativement datés qu'on a recueillis dans les mêmes milieux.

Une fois que l'on possède ainsi des synchronismes reliant des objets protohistoriques, d'une part à des produits de la XVIIIe dynastie, d'autre part à des produits de la XIIe, etc., on peut se faire une idée approchée de la rapidité de l'évolution qui, dans les pays sans histoire écrite, a présidé aux transformations des objets usuels. C'est le seul point sur lequel puissent subsister

de notables différences d'appréciation; mais il est à remarquer que plusieurs dates, avancées hypothétiquement il y a vingt ans par Montelius, se sont trouvées confirmées par des découvertes ultérieures.

L'évolution des types ne se poursuit pas de la même manière dans les milieux différents, comme Montelius l'a très bien montré par l'étude des fibules italiennes comparées aux fibules grecques. Il faut tenir compte des influences de voisinage, des relations commerciales, de la rareté ou de la fréquence des matières premières servant à la fabrication ou à la décoration. Mais quand on suit l'évolution locale d'un type, à l'aide d'un nombre suffisant d'exemplaires, on constate toujours qu'elle est logique, lente et progressive : *non facit saltus*. Le « déterminisme industriel » n'est pas une des moins intéressantes conclusions qui se dégagent des belles recherches de Montelius.

Ces recherches, à vrai dire, sont une application savante du *principe des séries*, qui domine toutes les études archéologiques. Mais les séries sur lesquelles opère Montelius ne sont pas de celles qu'on constitue en parcourant les vitrines d'un musée ; elles lui ont été fournies toutes faites par des fouilles régulières, dont les produits ont été conservés en groupes, au lieu d'être dispersés par unités. On conçoit dès lors l'obligation scientifique, pour celui qui conduit une fouille, de noter exactement tout ce qu'il trouve et les conditions dans lesquelles il trouve ; cela exige sans doute beaucoup d'attention, beaucoup d'écritures, mais ce sont là des devoirs impérieux.

Il n'est pas moins nécessaire, puisque tou

fouille implique des tranchées, de noter minutieusement l'état du sous-sol aux différents étages du travail, de ne jamais démolir un mur, fût-il du moyen âge, sans en relever exactement les dimensions et le plan. Schliemann, quand il commença ses recherches à Troie, n'était qu'un « prospecteur » de trésors ; par bonheur, après avoir très mal travaillé, il s'attacha le bon architecte Doerpfeld et une partie du moins de ce qui restait de la Troie primitive put être sauvé pour la science. Grâce à la photographie, il est aujourd'hui facile à un archéologue de fixer pour toujours l'aspect de ses fouilles à un moment quelconque de leur progrès ; mais il faut blâmer l'habitude prise par certains auteurs d'étaler toutes ces images devant le public. Il y a bien des détails qu'un archéologue doit noter, consigner dans ses carnets, photographier dans ses albums et qui ne doivent pas augmenter inutilement le volume et le prix de ses relations. Lors de la publication des fouilles américaines à l'Heraeum d'Argos, Furtwaengler protesta avec raison contre ce luxe encombrant et stérile d'informations que personne ne demandait[1].

*
* *

Après le fouilleur sans conscience, le plus grand ennemi de l'archéologie est le faussaire. Découvrir et dénoncer les fraudes, en préserver les Musées, est un des devoirs essentiels de l'archéologue. Malheureusement, entre l'archéologue et le faussaire, la partie n'est pas égale, car l'ar-

[1] *Berliner Philologische Wochenchrift*, 1906, p. 791.

chéologue publie ses observations, motive ses verdicts, tandis que le faussaire, travaillant dans l'ombre, profite des révélations de l'archéologue sans jamais lui communiquer ses recettes. Ainsi, lorsque Olivier Rayet commença à signaler les fausses terres cuites grecques, il remarqua que les figurines apocryphes étaient remplies de terre comme les autres, mais que la terre des figurines authentiques contenait seule des radicelles. Peu de temps après, les terres cuites fausses venaient sur le marché pleines de radicelles; le critère, une fois divulgué, ne valait plus rien.

Longtemps on a pensé que la corrosion de la surface des marbres, la patine déposée sur les bronzes au cours des siècles, étaient des signes d'authenticité impossibles à contrefaire ; mais en plaçant les objets qu'ils fabriquent dans les conditions voulues, en usant de réactifs chimiques, les faussaires sont parvenus, surtout en Italie, à surmonter toutes les difficultés techniques de leur métier. D'autre part, l'expérience montre qu'un faussaire ne se hasarde guère à inventer, sauf pour fabriquer des objets tout à fait grossiers et barbares comme les poteries dites moabites au musée de Berlin ; il copie et il compile. La première chose à faire, en présence d'un objet suspecté, est donc de chercher, dans le vaste trésor des objets connus, celui ou ceux dont un faussaire a pu s'inspirer. Les deux faux les plus célèbres de notre temps, la tiare de Saïtapharnès et le buste en cire dit de Léonard[1], n'auraient pas trompé les musées qui les ont acquis si l'on en avait à tem découvert les sources. La décoration si habile c

1. Voir *Revue archéol.*, 1903, II, p. 104 ; 1909, II, p. 416.

la tiare se compose presque exclusivement de motifs empruntés à des gravures d'après l'antique du recueil de Weisser, généralement ignoré des archéologues à cause de sa médiocre valeur scientifique ; du motif le plus caractéristique, tiré de la colonne de Marc-Aurèle, l'original n'a été indiqué que par le faussaire lui-même, appelé à Paris pour y donner des explications. Le buste de Flore est copié sur un tableau de l'école de Léonard qu'on ignorait à Berlin quand on acquit le buste, parce qu'il était encore inédit et caché dans une collection particulière. L'archéologue ne doit donc pas trop compter, dans sa lutte contre les faussaires, sur les critères extérieurs ou matériels, bien qu'il en existe d'assez concluants (comme les cabossages et les cassures portant sur les parties insignifiantes de l'objet, que le faussaire a toujours intérêt à ne pas gravement altérer). Il doit surtout posséder une vaste connaissance des monuments tant publiés qu'inédits. J'ajoute que la simple copie d'une monnaie, d'une pierre gravée, d'un marbre, etc. n'est guère dangereuse pour la science ; cela ne constitue qu'une réplique de plus, dont la valeur vénale importe peu. Ce qui est plus grave, c'est la copie modifiée par un détail, la contamination de motifs antiques constituant, par leur réunion, un document nouveau. En présence de pareilles fraudes, même quand on connaît les originaux imités par le faussaire, il faut souvent suspendre son jugement. Comme le disait un spirituel archéologue, il n'y a pas que deux classes d'objets, les authentiques et les faux : il y a les suspects et ceux qui devront toujours le rester.

*
* *

L'initiateur du *Corpus* des inscriptions grecques, Auguste Bœckh, réclamait avec insistance la publication d'un *Corpus* des monuments figurés. Montfaucon s'y était essayé, mais prématurément et sans critique; tout en visant trop haut, il s'était contenté de trop peu. Le *Corpus* demandé par Bœckh n'était pas non plus réalisable de son temps. La science a reconnu, dans la seconde moitié du XIXe siècle, qu'une pareille tâche n'est abordable qu'au prix de la division du travail. On a donc commencé des *publications de séries*, dont le *Musée de Sculpture* de Clarac avait donné l'exemple; ainsi ont été réunis, en Allemagne, les miroirs gravés, les terres cuites (les types seulement), les reliefs funéraires attiques, les reliefs de sarcophages, les urnes étrusques, les bronzes de la Renaissance. En France, j'ai repris et continué l'œuvre de Clarac, publié des recueils de vases, de gravures, de bas-reliefs, de têtes antiques, de peintures; l'Académie des Inscriptions de Paris a commencé un *Corpus* des mosaïques, celle de Berlin un *Corpus* des monnaies grecques; d'Amérique nous est venu récemment un essai de *Corpus* des cylindres assyro-babyloniens. La multiplication des travaux de ce genre, jointe à la publication de catalogues illustrés, de séries locales (comme les *Bas-reliefs de la Gaule* d'Espérandieu), de recueils d'objets *choisis* publiés avec toute la perfection désirable (Brunn-Bruckmann, Herma Bissing, Furtwaengler-Reichhold) allégera s gulièrement, dans l'avenir, la tâche des arch

logues, en leur facilitant la connaissance, encore si dispendieuse et si difficile, de groupes de monuments rendus accessibles dans leur ensemble. Ce travail d'inventaire, assez avancé pour l'antiquité, n'est encore qu'à peine ébauché pour l'archéologie du moyen âge, de la Renaissance, des temps modernes, de l'Extrême-Orient. Mais la nécessité en est universellement reconnue, le public lettré y porte un vif intérêt et tout fait espérer que le XXe siècle ne finira pas sans que l'archéologie, en pleine possession de sa méthode, ne soit dotée aussi des instruments de travail qui lui font défaut.

SALOMON REINACH,
de l'Institut.

HISTOIRE LITTÉRAIRE[1]

La méthode dont je vais essayer de donner l'idée, n'est pas de mon invention : je n'ai fait que réfléchir sur la pratique d'un certain nombre de mes aînés, de mes contemporains, et même de mes cadets.

Elle n'est pas particulière à la littérature française moderne : c'est celle qui, en son esprit du moins et dans ses règles principales, a servi à MM. Alfred et Maurice Croiset pour écrire leur histoire de la littérature grecque, à M. Gaston Boissier pour étudier la littérature latine, à MM. G. Paris et J. Bédier pour débrouiller la littérature française du moyen âge[2]. C'est celle qui a fait faire en France beaucoup de très bons livres sur toutes les littératures de l'Europe et du monde.

1. Ce morceau a été écrit en septembre 1909, et revu en mai-juin 1910. La plupart des notes sont plus récentes.

2. Je dirais aussi : à Ferdinand Brunetière, si son tempérament de logicien et d'orateur, sa doctrine transformiste, son dogmatisme littéraire, politique, social et enfin religieux n'avaient entraîné souvent ce puissant esprit hors des voies de la méthode historique et critique, t au delà des inductions légitimes. Mais il a donné dans beaucoup 'articles des modèles où nous pouvons apprendre à construire les lées sur l'érudition. Et il a été, au total, un grand maître, dangereux pour quelques-uns, bienfaisant pour beaucoup. Il a enseigné le travail au talent et n'a jamais dédaigné une connaissance précise.

Si mes réflexions regardent principalement la littérature française depuis la Renaissance, c'est que je la connais mieux et que j'y pense constamment : c'est aussi que dans tous les autres domaines, on ne conteste pas l'utilité des méthodes exactes. Mais la littérature française moderne est le théâtre de toutes les fantaisies, le champ de bataille de toutes les passions, et, disons-le tout bas, le refuge aussi de toutes les paresses. Chacun se croit compétent pour en parler, dès qu'il se pique d'esprit, dès qu'il se sent des enthousiasmes ou des haines ; et bien des lettrés se font de « la méthode » un épouvantail. Ils croient avoir à défendre leurs plaisirs et leur forme d'esprit contre sa tyrannie mortifiante. Ces inquiétudes sont chimériques.

Nous ne menaçons pas la volupté du liseur qui ne demande à la littérature qu'une récréation délicate, où l'esprit s'affine et se nourrit. Il faut que nous soyons d'abord ce liseur-là, que nous le redevenions à tout moment. Le travail méthodique s'ajoute à cette activité, et ne la remplace pas.

Nous n'abolissons non plus aucune des formes de la critique littéraire.

La critique impressionniste est inattaquable et légitime, quand elle se tient dans les limites de sa définition. Le mal est qu'elle ne s'y tient jamais. L'homme qui décrit ce qui se passe en lui quand il lit un livre, sans rien affirmer de plus que ses réactions intérieures, fournit à l'histoire littéraire un témoignage précieux comme nous n'en aurons jamais trop. Mais rarement un critique s'abstient de couler parmi ses impressions des jugements historiques, ou

donner sa modification pour le caractère même de l'objet.

Comme il est rarement pur, l'impressionnisme est rarement absent : il se déguise en histoire et en logique impersonnelles ; il inspire les systèmes qui dépassent ou déforment la connaissance.

Un des emplois principaux de la méthode est de donner la chasse à cet impressionnisme qui s'égare ou qui s'ignore, et d'en purger nos travaux. Mais le franc impressionnisme, mesure de la réaction d'un esprit à un livre, nous l'acceptons : il nous sert.

Nous n'en voulons pas non plus à la critique dogmatique. Elle est aussi pour nous un document. Tout dogmatisme esthétique, moral, politique, social, religieux, est l'expression soit d'une sensibilité personnelle, soit d'une conscience collective : toute décision dogmatique sur une œuvre littéraire nous révèle la manière dont un individu ou un groupe sont affectés par cette œuvre, et, avec les précautions convenables, devient une pièce de son histoire. Nous demandons seulement que la critique dogmatique, toujours partiale et passionnée, et qui prend volontiers sa foi pour un criterium non seulement de la vérité des idées, mais de la réalité des faits, ne se donne pas pour histoire, et ne soit pas reçue du public comme histoire. Nous voudrions qu'avant de juger Bossuet et Voltaire au nom d'une doctrine ou d'une religion, on s'appliquât à les connaître, sans songer à rien qu'à former la plus grande masse possible de connaissance authentique, et à poser le plus grand nombre possible de rapports vérifiés. Notre idéal est d'arriver à

construire le Bossuet et le Voltaire que ni le catholique ni l'anticlérical ne pourront nier, de leur en fournir des figures qu'ils reconnaîtront pour vraies, et qu'ils décoreront ensuite comme ils voudront de qualificatifs sentimentaux.

*
* *

L'histoire littéraire est une partie de l'histoire de la civilisation. La littérature française est un aspect de la vie nationale : elle a enregistré, dans son long et riche développement, tout le mouvement d'idées et de sentiments qui se prolongeait dans les faits politiques et sociaux ou se déposait dans les institutions, mais, de plus, toute cette vie intérieure et secrète de souffrances ou de rêves qui n'a pas pu se réaliser dans le monde de l'action.

Notre fonction supérieure est de conduire ceux qui lisent, à reconnaître dans une page de Montaigne, dans une pièce de Corneille, dans un sonnet même de Voiture, des moments de la culture humaine, européenne ou française.

Comme toute l'histoire, l'histoire littéraire s'efforce d'atteindre les faits généraux, de détacher les faits représentatifs, de marquer l'enchaînement des faits généraux et représentatifs.

Notre méthode est donc, essentiellement, la méthode historique, et la meilleure préparation de l'étudiant en lettres sera de méditer l'Introduction aux études historiques de MM. Langlois et Seignobos, ou le chapitre que M. G. Monod a rédigé dans un autre volume de la collection p(laquelle j'écris ceci.

Cependant il y a entre la matière ordinaire

l'histoire proprement dite et la nôtre certaines différences importantes, d'où vont résulter des différences de méthode.

L'objet des historiens, c'est le passé : un passé dont il ne subsiste que des indices ou des débris à l'aide desquels on en reconstruit l'idée. Notre objet, c'est le passé aussi, mais un passé qui demeure : la littérature, c'est à la fois du passé et du présent. Le régime féodal, la politique de Richelieu, la gabelle, Austerlitz, sont du passé disparu que nous reconstruisons. Le *Cid* et *Candide* sont toujours là, les mêmes qu'en 1636 et en 1759, non pas comme des pièces d'archives, ordonnances royales ou comptes de bâtiments, à l'état fossile, morts et froids, sans rapport à la vie d'aujourd'hui, mais comme des tableaux de Rembrandt et de Rubens, toujours vivants et doués encore de propriétés actives, contenant pour l'humanité civilisée des possibilités inépuisables d'excitation esthétique ou morale.

Notre condition est celle des historiens de l'art : notre matière, ce sont des œuvres qui sont devant nous et nous affectent comme elles ont affecté leur premier public. Il y a là pour nous un avantage et un danger, quelque chose en tout cas de spécial, qui devra se traduire en dispositions spéciales dans notre méthode.

Nous remuons sans doute, comme les historiens, une grande masse de documents — manuscrits ou imprimés — qui ne sont que documents. Mais ces documents nous servent à entourer, à éclairer les œuvres qui sont notre
…t propre et direct : les œuvres littéraires.
… est assez délicat de définir l'œuvre *littéraire ;*
…ois pourtant l'essayer. On peut s'arrêter à

deux définitions qui, séparément insuffisantes, sont complémentaires l'une de l'autre, et embrassent, réunies, toute la matière de nos études.

La littérature peut se définir par rapport au public. L'ouvrage littéraire est celui qui n'est pas destiné à un lecteur spécialisé, pour une instruction ou une utilité spéciales, ou bien qui, ayant eu d'abord cette destination, la dépasse ou y survit, et se fait lire d'une foule de gens qui n'y cherchent que de l'amusement ou de la culture intellectuelle.

Mais l'ouvrage littéraire se définit surtout par son caractère intrinsèque. Il y a des poèmes réservés par leur technique à un public très restreint, et qui ne seront jamais goûtés du grand nombre : les mettra-t-on hors de la littérature ? Le signe de l'œuvre littéraire, c'est l'intention ou l'effet d'art, c'est la beauté ou la grâce de la forme. Les écrits spéciaux deviennent littéraires par la vertu de la forme qui élargit ou qui prolonge leur puissance d'action. La littérature se compose de tous les ouvrages dont le sens et l'effet ne peuvent être pleinement révélés que par une analyse esthétique de la forme.

Il résulte de là que dans l'immense amas des textes imprimés, ceux-là nous appartiennent spécialement qui, par le caractère de leur forme, ont la propriété de déterminer chez le lecteur des évocations imaginatives, des excitations sentimentales, des émotions esthétiques. C'est par là que notre étude ne se confond pas dans les autres études historiques, et que l'histoire littéraire est autre chose qu'une petite science auxiliaire de l'histoire.

Nous étudions l'histoire de l'esprit humain

de la civilisation nationale dans leurs expressions *littéraires*, dans celles-là essentiellement ; et c'est toujours au travers d'un style que nous tâchons d'atteindre le mouvement des idées et de la vie.

Les chefs-d'œuvre sont donc bien l'axe de notre étude, ou si l'on veut, ils marquent pour nous autant de centres d'études. Mais n'entendons pas ce mot de chef-d'œuvre dans un sens actuel ou subjectif. Ce n'est pas seulement ce qui est chef-d'œuvre pour nous, pour nos contemporains, qu'il faut étudier, c'est tout ce qui fut chef-d'œuvre à un moment donné, toutes les œuvres où un public français a reconnu son idéal de beauté, de bonté ou d'énergie. Pourquoi y en a-t-il qui ont perdu leurs propriétés actives ? Sont-ce des étoiles éteintes ? ou avons-nous aujourd'hui des yeux qui ne sont plus sensibles à certains rayons ? Notre affaire est de comprendre même ces œuvres mortes ; et pour cela il faut les traiter autrement qu'en pièces d'archives : il faut nous rendre capables de ressentir par un effort de sympathie la vertu de leur forme.

Ce caractère sensible et esthétique des ouvrages qui sont nos « faits spéciaux », est cause que nous ne pouvons les étudier sans un ébranlement de notre cœur, de notre imagination et de notre goût. Il nous est à la fois impossible d'éliminer notre réaction personnelle et dangereux de la conserver. Première difficulté de méthode.

L'historien, en face d'un document, s'efforce d'en évaluer les éléments personnels, pour les éliminer Ces éléments personnels, c'est justement à eux qu'est attachée la puissance émotive et esthétique de l'œuvre; il nous faut donc les ordonner. L'historien, pour employer un témoi-

gnage de Saint-Simon, s'applique à le rectifier, c'est-à-dire à en retrancher Saint-Simon; et nous, à en retrancher justement ce qui n'est pas Saint-Simon. Tandis que l'historien recherche les faits généraux, et ne s'occupe guère des individus que dans la mesure où ils représentent des groupes ou modifient des mouvements, nous nous arrêtons, nous, aux individus d'abord, parce que sensation, passion, goût, beauté, sont des choses individuelles. Racine ne nous intéresse pas uniquement parce qu'il absorbe Quinault, contient Pradon et engendre Campistron, mais d'abord parce qu'il est Racine, une combinaison unique de sentiments traduits en beauté.

Le sens historique, dit-on, est le sens des différences. A ce compte, nous serions les plus historiens des historiens : car les différences que l'historien poursuit entre des faits généraux, nous les poussons, nous, jusqu'aux individus. Nous prétendons définir les originalités individuelles, c'est-à-dire des phénomènes singuliers, sans équivalents, et incommensurables. Seconde difficulté de méthode.

Mais si grands et si beaux que soient les individus, notre étude ne peut s'y enfermer. D'abord nous ne les connaîtrions pas, si nous ne voulions connaître qu'eux. L'écrivain le plus original est en grande partie un dépôt des générations antérieures, un collecteur des mouvements contemporains : il est fait aux trois quarts de ce qui n'est pas lui. Pour le trouver, lui, en lui-même, il faut séparer de lui toute cette masse d'éléme[illegible] étrangers. Il faut connaître ce passé qui s prolongé en lui, ce présent qui s'est infiltré lui : alors nous pourrons dégager son origina

réelle, la mesurer, la définir. Mais elle ne nous sera encore connue que virtuellement : pour savoir sa qualité, son intensité réelles, il nous faut la voir agir et développer ses effets, c'est-à-dire suivre l'influence de l'écrivain dans la vie littéraire et sociale. Et voilà toute l'étude des faits généraux, genres, courants d'idées, états de goût et de sensibilité, qui s'impose à nous, autour des grands écrivains et des chefs-d'œuvre.

Puis, ce que le génie individuel a, tout de même, de plus beau et de plus grand, ce n'est pas la singularité qui l'isole, c'est, dans cette singularité même, de ramasser en lui et de symboliser la vie collective d'une époque et d'un groupe, c'est d'être représentatif. Il nous faut donc chercher à connaître toute cette humanité qui s'est exprimée dans les grands écrivains, toutes ces lignes de plissement de la pensée et de la sensibilité humaines ou nationales dont ils indiquent les directions et les sommets.

Ainsi nous devons pousser à la fois en deux sens contraires, dégager l'individualité, l'exprimer en son aspect unique, irréductible, indécomposable, et aussi replacer le chef-d'œuvre dans une série, faire apparaître l'homme de génie comme le produit d'un milieu et le représentant d'un groupe. Troisième difficulté de méthode.

L'esprit critique est un esprit scientifique averti, qui ne se fie pas à la rectitude naturelle de nos facultés pour trouver la vérité, et qui règle ses démarches sur l'idée des erreurs à éviter. Les réflexions qui précèdent nous aideront à constituer les méthodes de l'histoire littéraire, en nous indiquant les points principaux où selon la nature de notre objet et les condi-

tions de notre étude, nous sommes les plus exposés à nous tromper.

Le propre de l'œuvre littéraire est de provoquer chez le lecteur des réactions du goût, de la sensibilité et de l'imagination : mais plus ces réactions sont intenses et fréquentes, moins nous sommes en état de nous distinguer de l'œuvre. Dans l'impression littéraire que fait sur nous *Iphigénie*, qu'est-ce qui est de Racine ? qu'est-ce qui est de nous ? comment extraire de notre modification personnelle une connaissance valable pour d'autres ? La définition même de la littérature ne nous enferme-t-elle pas dans l'impressionnisme ?

Si nous devons entreprendre la description des génies originaux, comment peut-on être sûr d'y atteindre « ce que jamais on ne verra deux fois ? » L'individuel est-il jamais accessible ? Pouvons-nous connaître autrement que par comparaison, autre chose que ce dont nous retrouvons l'analogue en nous et hors de nous ? Le reste, nous pouvons en percevoir, en signaler l'existence : sera-ce jamais pour nous autre chose qu'un je ne sais quoi ? Nous dirons le connaître, quand nous en aurons décrit certains effets que nous aurons constatés par les impressions des autres et par les nôtres. Qui nous assurera que cette connaissance est exacte et complète ? qui nous assurera que ce n'est pas Taine et nous que nous décrivons, et non Racine, quand nous disons les effets de Racine sur Taine et sur nous ?

Et enfin pour réduire le particulier au général pour doser dans un chef-d'œuvre le collectif l'individuel, pour soumettre le génie à des dépe dances sans le diminuer, pour y voir une sy.

thèse sans le borner à être une somme, pour lui faire exprimer la foule médiocre sans l'y rabattre, que de difficultés ! que d'incertitudes ! que d'études délicates à faire, où pourront se glisser toutes nos fantaisies et nos émotions personnelles !

De toute manière, le danger pour nous est d'imaginer au lieu d'observer, et de croire que nous savons, quand nous sentons. Les historiens ne sont pas à l'abri de ce danger ; mais leurs documents ne les y exposent pas au même degré. Au lieu que l'effet naturel et normal des œuvres littéraires est de produire de fortes modifications subjectives chez le lecteur. Toute notre méthode doit donc être disposée de manière à rectifier la connaissance, à l'épurer des éléments subjectifs.

* * *

Encore faut-il ne pas pousser cette épuration trop loin.

Si le texte littéraire diffère du document historique par sa propriété de provoquer en nous des réactions esthétiques ou sentimentales, il serait étrange et contradictoire de poser cette différence dans la définition pour n'en pas tenir compte dans la méthode. Jamais on ne connaîtra un vin, ni par une analyse chimique, ni sur rapport d'experts, sans y avoir goûté soi-même. En littérature aussi, rien ne peut remplacer la « dégustation ». S'il est utile pour l'historien de l'art de se mettre en face du *Jugement dernier* ou de la *onde de Nuit*, s'il n'y a pas de description de talogue ni d'analyse technique qui puisse remacer la sensation de l'œil, nous aussi nous ne

pouvons prétendre à définir ou mesurer la qualité ou l'énergie d'une œuvre littéraire sans nous être exposés d'abord directement, naïvement à son action.

L'élimination entière de l'élément subjectif n'est donc ni désirable ni possible, et l'impressionnisme est à la base même de notre travail. Si nous refusons de tenir compte de nos propres réactions, ce ne pourra être que pour enregistrer celle des autres hommes : objectives par rapport à nous, elles seront subjectives par rapport à l'œuvre qu'il s'agira de connaître.

Gardons-nous bien de nous figurer, comme nous faisons assez communément, que nous faisons de la science objective, quand nous chaussons simplement, au lieu du nôtre, le subjectivisme d'un grand confrère. Si peu que je m'évalue, mon impression existe ; elle est un fait ; j'en dois tenir compte autant que de celle de n'importe quel autre lecteur, fût-ce Brunetière ou Taine. Même je ne pourrai comprendre les mots dont ils se servent pour exprimer leur impression, si je n'ai pris conscience de la mienne : c'est ma sensation qui donne pour moi un sens à leur langage.

J'existe autant qu'un autre lecteur. Autant, et pas plus. Mon impression entre dans le plan de l'histoire littéraire. Mais elle n'y doit point avoir de privilège : c'est un fait ; ce n'est qu'un fait, de valeur relative, à considérer historiquement. Il exprime le rapport de l'œuvre à un homme d'une certaine sensibilité, d'une certaine époque, d'une certaine culture : il peut aider à la définir par effets.

Il y aurait même une utilisation possible

toutes les passions religieuses ou politiques, de toutes les sympathies ou antipathies de tempérament. La réponse de mes haines, de mon enthousiasme, de mon fanatisme même à un chef-d'œuvre, si je n'en fais pas le criterium de sa valeur et de sa beauté, peut servir d'indice pour guider l'analyse : à l'explosion, on devine parfois l'explosif.

Le tout est de ne pas me faire centre, de ne pas donner une valeur absolue à mes sentiments, pas plus à mon goût qu'à ma foi. Je contrôlerai, je réduirai mes impressions personnelles par l'étude des intentions de l'auteur, par l'analyse intrinsèque et objective de l'œuvre, par l'examen des impressions du plus grand nombre de lecteurs de l'ouvrage que je pourrai atteindre dans le passé et dans le présent : ces autres réactions individuelles, aussi instructives, aussi valables que la mienne, la remettront à sa place. Ma vibration se fondra dans les milliers de vibrations que les *Pensées* ou l'*Emile* ont éveillées, depuis leur publication, dans l'humanité civilisée : leur harmonie totale, pleine de dissonances, composera ce qu'on appelle l'effet du livre.

Nous aurons soin d'ailleurs de n'interroger notre sensibilité que sur les questions auxquelles elle peut répondre. La pratique est délicate ; la théorie est claire. Il faut s'efforcer de *savoir* tout ce qui peut être su, par les méthodes objectives et critiques. Il faut ramasser tout ce qui peut être obtenu de connaissance exacte, impersonnelle, vérifiable. Ne demandons à l'intuition, émotion, que ce qui n'est accessible d'aucune tre manière. Encore est-ce trop dire : mieux ut ignorer que croire qu'on sait, quand on ne

sait pas. Ne demandons à l'intuition, à l'émotion que ce qui, par sa nature, tombe sous leurs prises et serait moins bien saisi par toute autre voie. Ce qui revient à dire : *essayons* sur nous les propriétés actives de l'œuvre littéraire, sa puissance d'excitation, sa beauté de forme, et comparons le résultat de cet essai à ce que l'expérience des autres hommes, les autres méthodes d'analyse nous auront donné.

Si le premier commandement de la méthode scientifique est la soumission de l'esprit à l'objet pour organiser les moyens de connaître d'après la nature de la chose à connaître, il sera plus *scientifique* de reconnaître et de régler le rôle de l'impressionnisme dans nos études que de le nier. Comme on ne supprime pas une réalité en la niant, cet élément personnel impossible à éliminer entrerait sournoisement et agirait sans règle dans nos travaux. Puisque l'impressionnisme est la seule méthode qui donne la sensation de l'énergie et de la beauté des œuvres, employons-le à cela, franchement ; mais limitons-le à cela, résolument. Sachons, en le retenant, le distinguer, l'évaluer, le contrôler, le limiter ; voilà les quatre conditions de son emploi. Tout se ramène à ne pas confondre *savoir* et *sentir*, et à prendre les précautions utiles pour que *sentir* devienne un moyen légitime de *savoir*.

* * *

Le point de vue historique remet l'élément subjectif à sa place et désintéresse le critique. Ma réaction, qui est tout pour moi, tant que je la garde en moi, n'est plus, projetée hors de moi

et rabattue sur le plan de l'histoire, qu'un fait parmi des faits, un fait non privilégié ; s'il les éclaire, ils le limitent.

Mais l'ordre historique n'est souvent qu'un trompe-l'œil : il couvre tous les jeux de l'impressionnisme et toutes les entreprises du dogmatisme. C'est un artifice ou une illusion.

Si la chronologie nous sert à ne pas rapporter tout à nous, à étudier chaque siècle et chaque écrivain pour eux-mêmes, ce point de vue fournit une direction nouvelle à la sensibilité esthétique ; il lui ouvre des possibilités indéfinies d'activité sans danger. A l'ordinaire, dans nos lectures, nos réactions esthétiques ne sont pas très pures : ce que nous appelons notre goût est un mélange de sentiments, d'habitudes et de préventions où tous les éléments de notre personnalité morale fournissent quelque chose ; il entre de nos mœurs, de nos croyances, de nos passions dans nos impressions littéraires.

L'histoire peut détacher de nous notre sensibilité esthétique, ou du moins la faire passer sous le commandement de nos représentations du passé. L'œuvre du goût consistera dès lors à saisir les rapports qui unissent une œuvre à un idéal particulier, à une technique spéciale, et chaque idéal ou chaque technique à l'âme d'un écrivain ou à la vie d'une société. Nous nous appliquerons à sentir historiquement. Nous établirons l'échelle des valeurs non plus d'après nos préférences personnelles, mais d'après la puissance et la justesse des réalisations par rapport à la doctrine qui les a commandées. Nous tâcherons de sentir dans Bossuet ce que pouvaient sentir les hommes qui avaient bâti la colonnade

du Louvre, et dans Voltaire, les hommes pour qui Pater ou Martin travaillaient. Nous ne renoncerons point à nous-mêmes : lisant pour nous-mêmes, nous produirons, nous écouterons nos réactions de symboliste ou d'humaniste, de libre-penseur ou de catholique de 1910 ; mais il faudra savoir, à d'autres moments, couper la communication de notre sensibilité esthétique avec le reste de notre individualité actuelle. En littérature comme en art, il nous faudra avoir deux goûts, un goût personnel qui choisisse nos jouissances, les livres et les tableaux dont nous nous entourerons, et un goût historique qui serve à nos études, et qu'on peut définir « un art de discerner les styles », et de sentir chaque œuvre dans son style, en proportion de la perfection qu'il y reçoit.

* * *

Le développement merveilleux des sciences de la nature a été cause que dans le cours du XIXe siècle on a tenté à diverses reprises d'appliquer leurs méthodes à l'histoire littéraire : on espérait lui donner la solidité de la connaissance scientifique, exclure l'arbitraire des impressions de goût et l'*a priori* des jugements dogmatiques. L'expérience a condamné ces tentatives.

Les plus fortes têtes sont celles qui se sont le plus laissé griser par les grandes découvertes des sciences. Je pense à Taine et à Brunetière [1]. Je n'entreprendrai pas de faire, une fois de plus

1. Je les nomme parce que personne n'a eu plus de talent. I erreurs des médiocres n'instruisent pas.

la critique de leurs systèmes : on voit assez aujourd'hui que leur parti pris de contrefaire les opérations ou d'employer les formules des sciences physiques et naturelles les condamnait à déformer ou à mutiler l'histoire littéraire [1]. Aucune science ne se construit sur le patron d'une autre : leur progrès tient à leur indépendance réciproque qui leur permet de se soumettre chacune à leur objet. L'histoire littéraire, pour avoir quelque chose de scientifique, doit commencer par s'interdire toute parodie des autres sciences, quelles qu'elles soient.

Loin d'augmenter la valeur scientifique de nos travaux, l'emploi des formules scientifiques la diminue, parce qu'elles n'y sont que des trompe-l'œil. Elles traduisent avec une précision brutale des connaissances par nature imprécises : elles les faussent donc.

Défions-nous des *chiffres*. Le chiffre ne fait pas disparaître ce qu'il y a de flottant ou de flou dans l'impression : il le déguise. Quiconque sait un peu écrire, trouvera dans le langage ordinaire les moyens de rendre sensibles les nuances sans lesquelles il n'y a pas chez nous d'exactitude, et ces nuances ne se chiffrent pas.

Désabusons-nous des *courbes*, dont nous faisons le symbole du développement des idées littéraires. Mais elles y supposent, ou elles y introduisent : 1° l'*unité ;* 2° la *continuité*. Or il y a des mouvements qui éclatent, comme des épidémies, en plusieurs lieux à la fois, et des genres qui naissent deux ou trois fois, avant de vivre.

[1] Qu'on me permette ici de renvoyer à la conférence que j'ai faite ruxelles, le 21 novembre 1909 ; elle a été imprimée dans la *ue de l'Université de Bruxelles*, décembre-janvier 1910.

La *courbe* donne donc souvent une représentation inexacte des faits.

Résistons à la petite vanité d'employer les formules génératrices. Nous ne savons jamais tous les éléments qui entrent dans la composition du génie, ni la *proportion* exacte de chacun dans le mélange, et nous ne pouvons pas prévoir le produit que la combinaison donnera. Ceux qui *font* La Fontaine avec la Champagne, l'esprit gaulois et le don poétique, ceux qui *font* « Iphigénie » avec la politesse de cour, l'éducation classique et la sensibilité, sont des charlatans, ou des naïfs. L'approximation où nous arrivons dans nos déterminations est *au génie près*. Nous savons la composition de la tragédie classique ; nous tenons les formules : voilà de quoi faire Corneille. Seulement sera-ce Pierre, ou Thomas ? Voici de quoi faire la tragédie de cour. Seulement sera-ce Racine, ou Quinault ? Nos prévisions ne nécessitent pas l'individu. Tous nos mots qui expriment les données, *don poétique*, *sensibilité*, etc., enferment un effroyable inconnu. Il nous faut donc nous contenter d'analyser modestement ce que nous avons devant nous, de raconter des faits ; cessons de jouer au savant qui va recomposer par synthèse chimique *Phèdre* ou l'*Esprit des Lois*.

L'expression scientifique, quand on la transporte chez nous, ne donne qu'une fausse clarté. Il arrive même qu'elle obscurcisse. *L'éloquence de la chaire s'est transformée au XIXe siècle en poésie lyrique :* cette expression n'a de sens que pour ceux qui connaissent les faits. Pour ceux qui les ignorent, elle n'a pas de sens, ou elle signifie une erreur. Car la *transformation* d'un genre en

un autre est précisément ce que les faits ne donnent pas : c'est la part du système. Si bien que, ôtant l'expression scientifique, il vaut mieux dire dans le langage de tout le monde : *La poésie lyrique du XIXe siècle a pris pour matière des sentiments qui, au XVIIe et au XVIIIe siècle, n'ont guère été exprimés en France que par l'éloquence de la chaire.* C'est plus terne, mais c'est plus clair ; et c'est plus exact.

Plus réellement scientifique sera l'attitude des lettrés qui, sans prétendre rien construire sur le type d'une autre science, n'auront souci que de bien voir les faits de leur domaine, et de trouver les expressions qui n'en laisseront tomber ou n'y ajouteront que le moins possible. Voilà pourquoi nos vrais maîtres sont Sainte-Beuve et Gaston Paris.

La seule chose qu'il nous faille prendre à la science, comme écrivait Frédéric Rauh, « ce ne sont pas tels ou tels procédés... mais son esprit... Il nous paraît, en effet, qu'il n'y a pas de science, pas de méthode universelle, mais seulement une attitude scientifique universelle... On a confondu longtemps avec l'esprit scientifique même, la méthode de telle science, en raison des résultats précis où elle conduisait. Les sciences du monde extérieur sont ainsi devenues le seul type de la science. Mais l'unité des sciences physiques et des sciences morales n'est qu'un postulat... Il y a (cependant) une attitude de l'esprit à l'égard de la nature qui est commune à tous les savants... »

Une *attitude de l'esprit à l'égard de la réalité,* voilà bien ce que nous pouvons emprunter aux savants ; transportons chez nous la curiosité désintéressée, la probité sévère, la patience labo-

rieuse, la soumission au fait, la difficulté à croire, à *nous* croire aussi bien qu'à croire *les autres*, l'incessant besoin de critique, de contrôle et de vérification. Je ne sais pas si alors nous ferons de la science, mais je suis sûr, du moins, que nous ferons de la meilleure histoire littéraire.

Si nous songeons aux méthodes des sciences de la nature, que ce soit aux plus générales, aux procédés communs de toutes les recherches qui portent sur des faits, et que ce soit moins pour construire notre connaissance que pour éclairer notre conscience. Regardons les méthodes d'*accord* et de *différence,* les méthodes des *résidus* et des *variations*, mais que ce soit plutôt pour la moralité qu'elles impliquent que pour les cadres ou les façades qu'elles fournissent. De la méditation des méthodes scientifiques, tirons avant tout des scrupules, l'idée de ce que c'est qu'une *preuve*, l'idée de ce que c'est que *savoir*, pour nous rendre moins complaisants à nos fantaisies et moins prompts aux certitudes.

*
* *

Nos opérations principales consistent à connaître les textes littéraires, à les comparer pour distinguer l'individuel du collectif et l'original du traditionnel, à les grouper par genres, écoles et mouvements, à déterminer enfin le rapport de ces groupes à la vie intellectuelle, morale et sociale de notre pays, comme au développement de la littérature et de la civilisation européennes.

Pour faire notre tâche, nous avons à notre disposition un certain nombre de procédés et méthodes. L'impression spontanée et l'analy-

réfléchie sont des procédés légitimes et nécessaires, mais insuffisants. Pour régler et contrôler le jeu de l'esprit dans ses réactions contre un texte, pour diminuer l'arbitraire des jugements, il faut d'autres secours. Les principaux se tirent de l'emploi des sciences auxiliaires, connaissance des manuscrits, bibliographie, chronologie, biographie, critique des textes, et de l'emploi de toutes les autres sciences, comme sciences auxiliaires, chacune à son tour selon les occasions, principalement l'histoire de la langue, la grammaire, l'histoire de la philosophie, l'histoire des sciences, l'histoire des mœurs. La méthode consiste, dans chaque étude particulière, à combiner selon les besoins du sujet l'impression et l'analyse avec les procédés exacts de recherche et de contrôle, à faire intervenir à propos diverses sciences auxiliaires pour les faire contribuer selon leur portée à l'élaboration d'une connaissance exacte.

Connaître un texte, c'est d'abord savoir son existence : la tradition, rectifiée et complétée par la bibliographie, nous indique les œuvres qui sont la matière de notre étude.

Connaître un texte, c'est ensuite s'être posé à son sujet un certain nombre de questions ; c'est avoir fait passer nos impressions et nos idées par une série d'opérations variées qui les transforment et les précisent.

1° Le texte est-il authentique ? S'il ne l'est pas, est-il faussement attribué ou totalement apocryphe ?

2° Le texte est-il pur et complet, sans altération ni mutilation ?

Ces deux questions doivent être examinées très près pour les lettres, les mémoires, les

discours, et en général pour toutes les éditions d'œuvres posthumes. La seconde doit se poser toutes les fois que nous nous servons d'une réimpression moderne, et non d'une édition procurée par l'auteur même.

3° Quelle est la date du texte? La date de la composition, et non pas seulement celle de la publication. La date des parties[1], et non pas seulement en gros celle du tout.

4° Comment le texte s'est-il modifié de l'édition princeps à la dernière édition donnée par l'auteur? et quelles évolutions d'idées et de goût s'inscrivent dans les variantes[2]?

5° Comment le texte s'est-il formé, du premier canevas à l'édition princeps? Quels états de goût, quels principes d'art, quel travail d'esprit se manifestent dans les brouillons et les ébauches, si l'on en a conservé?

6° On établira ensuite le sens littéral du texte. Le sens des mots et des tours par l'histoire de la langue, la grammaire et la syntaxe historique[3]. Le sens des phrases, par l'éclaircissement des rapports obscurs, des allusions historiques ou biographiques.

1. Voyez le travail de M. Villey sur Montaigne, et les procédés ingénieux qu'il a employés avec autant de prudence que de rigueur.

2. On ne saurait trop admirer la capacité qu'ont certains esprits lettrés qui s'estiment par leurs dégoûts, de s'effarer des mots sans en comprendre le sens. Des journalistes, des professeurs même qui s'érigent en avocats de bonnes lettres, font sonner avec scandale le mot de *variantes*, détestent l'étude aride et pédantesque des *variantes*, sans songer que les *variantes* d'un texte français ne sont pas, comme celles des textes latins et grecs, les diverses bourdes des copistes, mais les états successifs de l'expression [illegible] écrivain, les témoins par conséquent de l'activité de son esprit de l'évolution de son goût. Si bien qu'il n'y a pas d'étude purement « littéraire » que celle-là.

3. Conseil bien banal, mais pratique trop peu commune.

7° Puis on établira le sens littéraire du texte. C'est-à-dire qu'on en définira les valeurs intellectuelle, sentimentale et artistique. On séparera l'usage personnel de la langue de l'usage commun des contemporains, les états individuels de conscience des façons communes de sentir et de penser. On distinguera, sous l'expression générale et logique des idées, les représentations et les conceptions morales, sociales, philosophiques, religieuses, qui forment comme le sous-sol de la vie intellectuelle de l'auteur, et qu'il n'a pas éprouvé le besoin d'exprimer, parce qu'il se comprenait et se faisait en son temps comprendre sans les exprimer. On saisira dans un accent, dans un reflet, dans un tour, les intentions profondes et secrètes qui souvent corrigent, enrichissent ou même contredisent le sens apparent du texte.

C'est ici surtout qu'il faut employer le sentiment et le goût subjectifs : mais c'est ici également qu'il faut s'en défier et les contrôler, pour ne pas se raconter soi-même sous prétexte de peindre Montaigne ou Vigny. Une œuvre littéraire doit se connaître d'abord dans le temps où elle est née, par rapport à son auteur et à ce temps. L'histoire littéraire doit se traiter historiquement : c'est un truisme, mais ce n'est pas encore une banalité.

8° Comment l'œuvre s'est-elle faite? De quel tempérament réagissant à quelles circonstances? Ceci, c'est la biographie qui nous le dit. De quels matériaux? Cela, on l'apprend par la recherche des sources : entendons ce mot au sens large, et ne cherchons pas seulement les imitations flagrantes et les démarquages grossiers, mais toutes les empreintes, toutes les traces de la tradition

orale ou livresque. Il faut pousser en ce sens jusqu'à l'extrême limite des suggestions et des colorations perceptibles.

9° Quel a été le succès, et quelle a été l'influence de l'œuvre? L'influence ne coïncide pas toujours avec le succès. La détermination de l'influence littéraire n'est qu'une étude de sources renversée : on l'obtient par les mêmes méthodes. Celle de l'influence sociale est plus importante encore, et plus difficile à constater. La bibliographie des éditions et réimpressions fait apparaître la circulation du livre : on la saisit au point de départ, chez le libraire. Les catalogues des bibliothèques privées, les inventaires après décès, les catalogues de cabinets de lecture, nous la montrent aux points d'arrivée : on voit quelles personnes, au moins quelles classes et quelles régions le livre a touchées dans sa diffusion. Enfin les comptes rendus de la presse, les correspondances particulières, les journaux intimes, parfois des annotations de lecteurs, parfois des débats législatifs, des polémiques de presse, ou des affaires judiciaires, apportent des renseignements sur la manière dont le livre a été lu, et sur les dépôts qu'il a laissés dans les esprits.

Voilà les opérations principales d'où se tire la connaissance exacte et complète — jamais complète en réalité, mais la moins incomplète possible — d'une œuvre littéraire. De là on passe, par une répétition des mêmes procédés aux autres œuvres de l'écrivain à celles des autres écrivains. On groupe ensuite les œuvres selon leurs affinités de fond et de forme. On constitue — par la filiation des formes, l'histoire des genres; — par la filiation des idées et des sen

ments, l'histoire des courants intellectuels et moraux ; — par la coexistence de certaines colorations et de certaines techniques dans des œuvres de genre et d'esprit différents, l'histoire des époques du goût.

Dans cette triple histoire, on ne marche sûrement qu'en faisant la part très large, la plus large possible, aux œuvres inférieures et oubliées[1]. Elles entourent les chefs-d'œuvre, elles les préparent, les ébauchent, les commentent, font la transition de l'un à l'autre, en éclairent les origines et la portée. Le génie est toujours de son siècle, mais toujours il le dépasse : les médiocres sont tout entiers de leur siècle, ils sont toujours à la température de leur milieu, au niveau de leur public. Les œuvres mortes d'une époque sont donc nécessaires pour circonscrire et définir l'originalité irréductible ou incommunicable du grand écrivain, pour définir l'esthétique moyenne d'une école, la technique usuelle d'un genre, la destination régulière et les usages communs d'une certaine catégorie de littérature.

Enfin, l'histoire littéraire s'achève par l'expression des rapports de la littérature à la vie, où elle rejoint la sociologie. La littérature est l'ex-

1. Je ne puis résister au plaisir de renvoyer à quelques pages de Péguy (Cahiers de la quinzaine, onzième série, 12e cahier, *Notre Jeunesse*, p. 8-10), où il marque excellemment l'intérêt des documents qui représentent, non « les premiers rôles, le grand jeu, les grandes marques », mais les gens ordinaires, moyens, obscurs, qui sont le *tissu* même d'un peuple. Ces pages nous défendent éloquemment contre ceux qui seraient portés, avec le même Péguy (douzième série, 1er cahier, *Victor-Marie comte Hugo*, p. 225), à nous procher de ne pas nous claquemurer dans les chefs-d'œuvre, et amasser autour d'eux toute sorte de textes de beauté moindre, si nous cherchons la pensée moyenne d'une époque, le sol où plongent par leurs racines, les œuvres supérieures.

pression de la société : vérité incontestable, qui a engendré bien des erreurs. La littérature, souvent, est complémentaire de la société : elle exprime ce qui nulle part ailleurs ne se réalise, les regrets, les malaises, les aspirations des hommes. Elle est bien par là encore l'expression de la société, mais alors il faut donner au mot un sens qui ne comprenne pas seulement les institutions et les mœurs, et qui s'étende à ce qui n'a pas d'existence actuelle; à l'invisible que ni les faits ni le pur document d'histoire ne révèlent.

Et puis il ne suffira pas de voir un rapport général entre la littérature et la société. Image ou miroir, ce n'est pas assez pour nous : nous voulons savoir les actions et les réactions qui vont de l'une à l'autre, laquelle va devant, ou suit, à quel moment c'est l'une, ou c'est l'autre, qui fournit le modèle ou imite. Rien n'est plus délicat que la recherche de ces échanges.

On n'aura pas de peine à concevoir que le problème général doit se décomposer en problèmes partiels, et que ce n'est qu'au bout d'une infinité de solutions particulières qu'on pourra trouver, je ne dis pas la solution générale, mais l'ébauche d'une solution valable approximativement pour une époque ou un mouvement.

Il est chimérique de vouloir poser d'un seul coup la question de l'influence de tout un groupe d'œuvres sur tout un groupe de faits. L'influence de la littérature sur la Révolution ne sera tant mal que bien perceptible que lorsqu'on aura observé patiemment de 1715, et même de 168[illegible] à 1789, les échanges multiples qui se sont fa[illegible] sans interruption entre la littérature et la vie. [illegible] la littérature a agi, ce n'est pas comme un bl[illegible]

ni sur le bloc des faits, c'est par une infinité de sollicitations sur une infinité d'âmes individuelles pendant plus d'un siècle, de telle sorte qu'à la fin, en 1789, un siècle de la littérature était infiltré, déposé à des étages divers en quantités diverses dans la conscience collective de la nation française, et se retrouvait dans sa manière de réagir aux faits.

* * *

Dans toutes les opérations que j'ai décrites nous sommes exposés à chaque instant à nous tromper. Craindre constamment l'erreur, c'est notre vraie manière et toute notre manière de faire du travail scientifique. Et c'est par là que la méthode dont je fais l'exposé, contrarie le plus les habitudes littéraires de la « critique de génie[1] ». Nous avons peur toujours de nous tromper, nous nous défions de nos idées : elle se complaît dans les siennes ; elles les veut neuves, amusantes, voyantes : nous les voulons vraies ; elle les pousse ou les enjolive avec virtuosité : nous prenons garde que rien n'y dépasse les faits établis. Montaigne ou Rousseau ne sont que les poids avec lesquels elle jongle : il ne s'agit que de faire admirer la force ou l'agilité du critique. Nous voulons être oubliés, et qu'on ne voie que

1. On comprend qu'en adoptant ce terme, je n'entends pas dire que ceux qui la pratiquent aient le monopole du génie, ni qu'ils aient tous du génie, mais qu'elle ne peut se passer de génie. ux vaut faire un *Index* de l'*Année littéraire* que d'écrire à la ière de Lemaître et Faguet, quand on n'est ni Lemaître ni uet. Et il faut bien se mettre dans la tête qu'on ne supplée pas énie, pas même à l'esprit, par la prétention d'en avoir : vérité mais saine, quand on l'a une fois bien comprise.

Montaigne et Rousseau, tels qu'ils furent, tels que chacun les verra, s'il applique loyalement, patiemment son esprit aux textes. La critique subjective ne trouve tant d'amateurs que parce que c'est celle où il est le plus aisé de se faire valoir à propos et au lieu de l'œuvre qu'on a l'air d'étudier.

Toute notre méthode, je l'ai déjà dit, est constituée pour séparer l'impression subjective de la connaissance objective, pour la limiter, la contrôler et l'interpréter au profit de la connaissance objective.

Mais, dans la préparation de la connaissance objective, l'erreur nous guette à tous moments et de tous les coins de nos sujets. J'en distingue quelques formes principales.

1° Nous opérons sur une connaissance incomplète ou fausse des faits. Nous n'avons pas fait un dénombrement assez diligent des textes à étudier; nous ignorons trop le travail de nos devanciers et les résultats où ils sont parvenus. La bibliographie est encore ici le remède : savoir aride, insipide, si l'on en fait une fin, mais instrument nécessaire et puissant pour préparer la matière qu'on façonnera en idées vraies [1]

1. Le mot de *bibliographie* est aussi un de ceux que certains beaux esprits ne prononcent qu'avec horreur. Ils n'ont pas l'air de se douter que, dès qu'ils parlent de la vie de Molière ou de Racine, ils ont besoin de connaissances bibliographiques : car ils n'ont pas sans doute la prétention d'inventer la biographie de leurs auteurs. Ils ne réussissent à ne rien devoir à la bibliographie, qu'en se contentant d'orner d'esprit ou de rhétorique leur savoir de collège, ou de démarquer un livre d'érudit que le hasard a fait tomber entre leurs mains. Dès qu'on sort de l'impressionnisme, ce n'est que la bibliographie qu'on peut savoir en quels endroits sont prép les matériaux dont on a besoin. Et d'autre part, dresser une bil graphie n'est pas un travail de manœuvre où l'intelligence e

Nous péchons aussi par paresse d'esprit. Nous enregistrons trop aisément comme résultats acquis les conclusions de nos devanciers, s'ils ne heurtent pas nos partis pris et nos sympathies. Nous n'en faisons souvent qu'un examen logique, et non pas un examen critique. Nous ne sondons pas assez les dessous du livre, nous ne regardons pas avec une défiance assez aiguë la qualité de ses preuves. Il faut d'abord nous rendre compte de la manière dont il est fait, voir clairement ce qu'il emploie, ce qu'il néglige, comment il tourne ce qu'il emploie, et si l'affirmation est exactement proportionnée aux moyens qui paraissent l'établir; il faut évaluer enfin précisément l'apport réel de connaissance neuve et saine qu'on lui doit.

2° Nous établissons des rapports inexacts : tantôt par ignorance, et cette erreur se ramène à la précédente; tantôt par impatience, et le remède est de nous discipliner, de nous imposer le travail lent, où l'idée mûrit; tantôt par une confiance irréfléchie dans le raisonnement. Car dans les sciences historiques le raisonnement est trompeur. Presque jamais nous ne possédons des données assez simples, assez précises, pour déterminer rigoureusement le raisonnement. Du moins faut-il le réduire à des opérations courtes, comme de tirer une conséquence immédiate, lorsqu'il apparaît qu'il n'y en a

goût n'ont point de part. Il faut bien posséder un sujet, il faut l'avoir réduit en idées, pour être en état de former un répertoire bibliographique qui conduise l'étudiant aux ouvrages utiles et qui l'oriente à travers la forêt des livres. Il y a, en bibliographie, de bons et de mauvais ouvrages : comme il y a, dans la production des lettrés les moins suspects d'érudition, des écrits intelligents, et d'autres qui ne le sont pas.

rigoureusement pas d'autre possible. Mais il faut renoncer à faire des chaînes de raisonnements : elles ne s'allongent qu'en s'affaiblissant. La certitude qui au premier pas résultait du contact immédiat des faits, diminue à chaque pas qui en éloigne : quelque attention qu'on fasse à raisonner rigoureusement, à chaque progrès de la déduction, le nombre des constructions possibles augmente, et le choix devient plus arbitraire. Aussi faut-il, après chaque opération de logique formelle, revenir aux faits, et y reprendre les données suffisantes pour déterminer l'opération suivante. Ne tirons jamais sans une défiance extrême une conséquence d'une conséquence.

Et par suite, interprétons directement les textes. Ne leur substituons jamais d'équivalents, comme nous le faisons souvent inconsciemment. Nous nous traduisons en notre langage les documents que nous discutons; et notre traduction, qui appauvrit ou altère les originaux, les chasse tout à fait de notre esprit. « X... écrit *a*; mais *a*, c'est la même chose que *b*. Si donc X... a pensé *b*, c'est que... ». Et nous ne nous occupons plus de *a* qui est le seul texte réel : nous ne travaillons plus que sur *b*, le texte apocryphe que nous avons constitué, par une confiance excessive et commode dans notre jugement des identités.

3° Nous étendons d'une façon illégitime la portée des faits que nous avons observés. Nous constatons une analogie, nous en faisons une dépendance. « X... ressemble à Y... » devient. « X copie ou imite Y ». Nous constatons ur dépendance, nous la déclarons directe ou imm diate : « X... s'inspire de Y... »; mais nou

oublions qu'il y a eu ou qu'il peut y avoir un Y'... qui s'est inspiré de Y... et qui seul a inspiré X... Nous remarquons un rapport précis, limité, partiel; nous y attachons une conclusion étendue ou générale. « Cette phrase se date par telles allusions : donc tout le chapitre, donc toute l'œuvre est de telle date. » En principe un passage daté ne date que lui-même : il *ne va pas de soi* qu'il date un plus vaste morceau.

Chaque fait ou chaque ordre de faits que nous étudions, éclipse momentanément les autres. Nous étudions les origines anglaises ou allemandes du romantisme; et la tradition française rentre dans l'ombre. Nous étudions l'influence de Lamennais sur Hugo ou Lamartine; et nous supprimons dans notre pensée tous les canaux par où les mêmes idées, les mêmes états de conscience ont pu leur être au même temps apportés. Ce n'est pas une petite affaire que de retenir toujours sous les yeux de l'esprit la carte des courants multiples de la pensée et de l'art, avec les positions exactes des principaux écrivains et les communications souvent obscures et détournées qui les unissent. Il faut pourtant ne jamais la perdre de vue, cette carte, quels que soient le canton ou le sentier particulier qu'on étudie. Nos traceurs d'influences et quêteurs de sources sont trop facilement persuadés qu'il n'y a qu'un chemin qui mène à Rome.

Nous étirons presque toujours le sens des faits et des textes : resserrons-le au contraire scrupuusement. N'essayons pas d'en augmenter trop portée aux dépens de la justesse. Il est vrai ue le critique brille surtout dans l'art de faire endre aux preuves plus qu'elles ne portent

visiblement : résignons-nous donc à ne pas briller, et n'en recueillons que la certitude palpable, incontestable, et « grossière », comme disait Pascal de la vérité géométrique.

Les faits se limitent les uns par les autres : recherchons toujours ceux qui ôtent du sens à ceux qui nous ont frappés, et n'omettons pas de prendre en compte les « faits négatifs ». Comptons sur un grand déchet : nous ne connaissons jamais toutes les circonstances d'un fait, toutes les pensées d'un auteur, et, dans nos plus évidentes interprétations, il est bien rare qu'une chance d'erreur ne subsiste pas. Multiplions donc les observations, de façon que les erreurs de détail se compensent et s'annulent. Jalonnons notre route le mieux possible et rétrécissons les intervalles que l'esprit doit franchir entre les données positives.

4° Nous nous trompons dans l'usage des méthodes particulières, et nous demandons à l'une les conclusions que l'autre seule peut donner. Nous affirmons des faits sur la foi d'une déduction *a priori* ou d'une impression subjective : ce sont les cas grossiers. Mais nous employons la biographie, par exemple, à établir la valeur intellectuelle ou morale d'une œuvre. C'est bien, s'il s'agit de juger l'auteur : encore ses intentions actuelles, en composant, ne sont-elles pas nécessairement déterminées par les accidents de son passé. Les cinq enfants mis aux Enfants-trouvés, ni le ruban de Marion, ne nous renseignent pas sur l'inspiration morale de Jean-Jacques en 1760, et encore moins sur la vert morale et, si je puis dire, la salubrité de l'*Emile* Ce problème-ci ne se résout plus par la biogra

phie de l'auteur, mais par la réaction du public : dans ces réactions, la vie et le caractère de Rousseau ne comptent plus par ce qu'ils ont été réellement, mais par les images seules, vraies ou fausses, que les lecteurs s'en font, et qui peuvent se mêler plus ou moins aux impressions du livre.

On se trompe communément dans le choix des *faits représentatifs*. Sans parler des préférences ou des partialités qui nous égarent, une illusion ordinaire est celle qui nous fait prendre les faits *extrêmes* pour les plus *représentatifs*. Or, étant extrêmes, ils sont par conséquent exceptionnels : ils ne sont représentatifs que d'une limite, d'un maximum d'intensité. Et, dans nos études, ils contiennent toujours une part considérable d'individualité qui rend leur valeur représentative obscure et incertaine. Les chefs-d'œuvre sont des faits extrêmes. *Phèdre* représente la tragédie française; mais dans *Phèdre*, il y a peut-être encore plus Racine qu'il n'y a la tragédie française.

Les faits visiblement représentatifs sont les faits moyens. Rassemblés en grand nombre, leur contenu commun sort aisément; il devient aisé de choisir les plus significatifs, c'est-à-dire ceux qui présentent les formes les plus pures et les plus normales du type commun. Et du même coup le chef-d'œuvre, le fait extrême s'éclaire, il acquiert, dans ce rapprochement, toute sa valeur de signification; et l'on voit dès lors nettement de quoi, jusqu'où il est représentatif sans cesser d'être unique.

Mais, les faits moyens, le plus souvent, ne se laissent pas ramasser en un groupe homogène.

Ils vont en sens divers. M. Mornet, dans sa belle étude sur le Sentiment de la nature au XVIIIe siècle, a organisé une méthode originale, pour discerner, parmi les courants contraires et les remous, la direction des mouvements d'idées. M. Mornet ordonne chronologiquement les faits contradictoires en séries parallèles : la série qui va croissant marque la tendance nouvelle, la série décroissante est celle des survivances où le passé se prolonge. Une seule coupe prise à un seul moment nous laisserait indécis en présence de groupes à peu près équilibrés de faits contradictoires.

Chez M. Mornet aussi, et chez M. Cazamian, dans son Essai sur le roman social en Angleterre, nous pouvons trouver des méthodes pour résoudre les problèmes délicats de l'action d'un écrivain ou d'une œuvre. Nous les résolvons presque toujours par un préjugé favorable au génie : nous lui donnons volontiers l'initiative ou l'efficacité. Nous n'examinons guère une à une les quatre ou cinq hypothèses que l'on peut faire, en dehors de celle qui donne tout au génie.

a) Le chef-d'œuvre peut avoir sonné la victoire gagnée par d'autres.

b) Il peut avoir emporté la place déjà affaiblie, livré le dernier assaut qui l'a emportée.

c) Il peut n'avoir été que le tambour qui battait la charge pour l'attaque.

d) Il peut n'avoir fait que rassembler les hommes dispersés à toutes les besognes de la vie, et inscrire une idée à l'ordre du jour de l'opinion.

Toutes ces hypothèses reviennent à dire que chef-d'œuvre vient après d'autres œuvres litt raires dont il faut tenir compte aussi.

5° Enfin, comme nous n'aimons pas à nous être donné du mal pour rien, nous surfaisons la certitude acquise. Très peu de documents et très peu de méthodes, en histoire littéraire, donnent une vraie certitude. Et la certitude, en général, est en raison inverse de la généralité de la connaissance. Voilà ce qu'il faut se dire. Mais des probabilités, des approximations ne sont pas à dédaigner; et l'on est assez payé quand on a gagné quelques degrés vers la connaissance parfaitement claire. Il faut savoir à la fois apprécier les résultats acquis, pour éviter le scepticisme décourageant, et les déprécier, pour éviter l'engourdissement béat. Le relativisme est ici, comme ailleurs, le principe à la fois de la sûre technique et de l'hygiène morale.

Notre péché d'habitude est d'élever de plusieurs degrés, et parfois même jusqu'à l'absolu, toutes les certitudes imparfaites que nous acquérons par nos études. Les possibilités deviennent des vraisemblances, les probabilités des évidences, les hypothèses des vérités démontrées. Les déductions ou les inductions se confondent dans les faits dont on les tire, et en prennent la force de constatations immédiates.

Cependant depuis vingt ou trente ans les historiens et les critiques qui usent des méthodes historiques et critiques de la littérature sont devenus beaucoup plus exigeants et prudents. L'état d'esprit d'un Sainte-Beuve, toujours en défiance et en garde, s'il n'est pas encore universel, n'est plus du moins une exception. Le progrès est bli par le fait que les maîtres après un certain aps d'exercice, trouvent des élèves qui les passent, et qui ont presque naturellement

la conscience scientifique qu'eux-mêmes se sont faite si difficilement et si tard.

* * *

On sera peut-être effrayé du tableau que je viens de faire. Si les exigences de la méthode sont telles, si rigoureuses et si multiples, quelle vie humaine suffira à l'étude de la littérature française? Aucune sans doute ne suffira à la connaissance complète. Mais ce qu'une vie d'homme ne peut faire, beaucoup de vies d'hommes le feront. L'histoire de la littérature française est une entreprise collective : que chacun apporte sa pierre bien taillée. Cela n'empêchera personne de lire tout ce qu'il voudra pour son plaisir.

Il n'y a même presque pas de sujet particulier, en dehors des petits problèmes d'érudition, qu'un homme puisse traiter complètement, en faisant toutes les besognes à lui tout seul : c'est pour cela qu'il faut savoir ce que les autres ont fait avant nous, et partir des résultats acquis. D'où l'impossibilité d'arriver à rien sans de bonnes bibliographies.

La division du travail est la seule organisation rationnelle et féconde des études littéraires. Chacun se donnera la tâche proportionnée à ses forces et à son goût. Les uns seront des érudits appliqués à la préparation des matériaux, à la découverte et à la critique de documents, à la fabrication des instruments de travail. D'autres établiront les monographies des auteurs et des genres. D'autres tenteront les vastes synthèse D'autres se dévoueront à la vulgarisation d résultats acquis par le travail original.

Je ne crois pas d'ailleurs, malgré l'opinion de M. Langlois, qu'il soit bon qu'il y ait une séparation complète entre les inventeurs et les vulgarisateurs, entre les vérificateurs du détail et les généralisateurs. On ne comprend bien le détail que par l'ensemble. On ne connaît bien l'ensemble que par le détail. On vulgarise mal, si l'on ne sait pas comment s'élabore la connaissance, et ce que vaut le résultat acquis. La division du travail a donc ses dangers.

D'autre part, la vie est courte, et l'on ne fait bien que ce qu'on fait avec goût et par une vocation naturelle. La division du travail est une nécessité, soit qu'on regarde l'édifice à construire, soit qu'on regarde les ouvriers à employer.

Mais il y a un temps où elle n'est ni nécessaire ni désirable. C'est le temps de l'apprentissage. Il est souhaitable qu'à l'Université les jeunes gens que l'histoire littéraire intéresse, soient exercés successivement à toutes les opérations par lesquelles elle se construit, familiarisés avec le maniement de toutes les méthodes, qu'ils apprennent à constituer une bibliographie, à chercher une date, à confronter des éditions, à tirer parti des brouillons d'un chef-d'œuvre, à trouver une source, à tracer une influence, à débrouiller les origines d'un mouvement, à séparer les éléments d'une forme hybride ; qu'ils s'essaient à des synthèses partielles, à des expositions où la vulgarisation conserve au savoir sa précision et sa solidité. Après cela ils feront dans la vie ce qu'ils voudront, ce qu'ils pourront. Ils auront passé par tous les *services :* ils sauront comment se fabrique la connaissance littéraire,

et comment elle s'emploie. S'ils n'apprennent pas ces deux choses, la première surtout, à l'Université, où, quand les apprendront-ils ?

Il serait même bon que, plus tard, le vulgarisateur et le généralisateur gardassent l'habitude de résoudre de temps à autre des problèmes précis d'érudition, fissent parfois la critique des documents ou la préparation d'une édition. Et, inversement, l'érudit gagnerait à tâter lui-même de la synthèse, et à essayer de parler certains jours au grand public. Ces changements d'exercice conserveraient aux esprits leur souplesse et leur vigueur, empêcheraient les uns de s'amincir, les autres de se rétrécir, et préviendraient cette sorte de dessèchement qui, même dans le travail intellectuel, est le revers de la division du travail, et dont les spécialistes de la légèreté ne sont pas plus exempts que d'autres.

*
* *

Un certain nombre de critiques littéraires redoutent que la méthode n'étouffe le génie, et s'échauffent là-dessus comme s'ils y avaient un intérêt personnel. Ils dénoncent le labeur mécanique des fiches, l'érudition stérile. Ils veulent les idées.

Qu'ils se rassurent. L'érudition n'est pas un but : c'est un moyen. Les fiches sont des instruments pour l'extension de la connaissance, des assurances contre l'inexactitude de la mémoire : leur but est au delà d'elles-mêmes. Aucune méthode n'autorise le labeur mécaniq et il n'y en a pas une qui ne vaille à proport de l'intelligence de l'ouvrier. Nous voulons n aussi les idées. Mais nous les voulons vraies.

Et ainsi toute l'activité originale de l'esprit qui sent, analyse, ou médite, subsiste dans l'emploi des méthodes exactes. L'invention des idées s'exerce librement, et nous ne limitons la puissance ou la fécondité d'aucune intelligence. Mais comme nous voulons des idées vraies, nous demandons des preuves, des vérifications; nous exigeons qu'on emploie des matériaux de bonne qualité, qu'on se soit donné la peine d'apprendre les choses qu'on prétend expliquer. Quand ces preuves et ces vérifications, quand cette critique des matériaux et ce savoir exact manquent, nous ne rejetons pas encore les illuminations du génie, mais nous les recevons comme des hypothèses; nous nous donnons la tâche de les contrôler, d'y séparer le bon métal de toutes les impuretés; et des vies de travailleurs patients s'emploient à extraire de la vérité des jeux du génie négligent[1].

Loin de restreindre l'activité de l'invention, nous la doublons: nous lui offrons un champ neuf et illimité. Créer des idées n'est plus tout: il faut créer aussi des méthodes. Il n'y a pas de méthodes *passe-partout*. Quelques principes généraux étant donnés, chaque problème spécial ne se résout bien que par une méthode construite spécialement pour lui, adaptée à la nature de ses données et à celle de ses difficultés. Les problèmes eux-mêmes ne se posent pas tout seuls: l'idée de la question demande souvent autant de

1. Encore faut-il que le génie ne se néglige pas trop. Il est triste de voir parfois des critiques du plus bel esprit, faire sur nos grands é ains, des livres où ils ne mettent que des gentillesses de forme, e il n'y a rien à apprendre, en aucun sens du mot, pour un li ié ès lettres de moyenne culture. Ceux qui peuvent le plus s ceux qui doivent le plus. Le talent et le génie sont des moyens, e des dispenses.

génie que l'idée de la réponse. En suggérant à l'imagination créatrice de s'appliquer à l'invention des problèmes et des méthodes, et non plus seulement des solutions, nous étendons son rayon d'action, et nous lui ouvrons des possibilités indéfinies d'activité. Nos hommes de génie peuvent être tranquilles : nous ne les laisserons jamais manquer d'exercice.

Mais ce qu'on peut atteindre de vérité dans les études de littérature vaut-il la peine qu'on se donnera pour l'atteindre ? C'est un doute qui reste à beaucoup. La réponse de Montaigne me satisfait : si nous ne sommes pas faits pour trouver la vérité, du moins est-ce notre affaire de la chercher. Mais le métier de parler sur les ouvrages d'autrui serait bien peu noble, s'il n'y avait au bout de notre effort, à côté du plaisir que nous prenons, un peu de vérité à communiquer. Pour le professeur de littérature, en particulier, l'enseignement serait une jonglerie ou une hypocrisie, si chacun de nous n'enseignait que sa fantaisie ou son dogme. Il y a toute une partie de la littérature qui ne s'enseigne pas ; nous ne pouvons que dire à nos étudiants : « Lisez, sentez. Réagissez contre l'auteur. Nous ne voulons pas substituer nos réactions aux vôtres. Mais nous vous enseignerons ce qui est matière de science, donc d'enseignement ; nous vous communiquerons tout ce lot de vérités relatives et imparfaites, mais précises et contrôlables — histoire, philologie, esthétique, stylistique, rythmique —, toutes ces idées dépendantes d'un savoir exact qui peuvent être mêmes dans tous les esprits, et qui vous donront les moyens d'affiner, de rectifier, d'enrich

vos impressions, de voir plus de choses, et plus profondément, dans les chefs-d'œuvre qu'on lit toujours. Nous vous montrerons comment ce savoir exact s'obtient. Nous vous mettrons en état de travailler à l'augmenter, si c'est votre goût, ou tout au moins de savoir ce qu'il vaut, pour vous en servir sans le mépriser ni le surfaire. »

D'ailleurs il est visible dès aujourd'hui que tous ceux qui ont voulu depuis un siècle donner aux idées littéraires un peu de la solidité de la connaissance scientifique, quelles qu'aient été les illusions et les égarements de beaucoup, et parfois des plus grands, n'ont pas travaillé en vain. Ni Sainte-Beuve, ni Taine, ni Brunetière, ni tant d'auteurs de monographies, de thèses de doctorat[1], d'articles de revues critiques et savantes, n'ont perdu leur temps. Les bases de la connaissance littéraire s'assurent. Mainte biographie d'auteur a été nettoyée. Mainte chronologie a été précisée. Toutes sortes de problèmes de sources, d'influences, de versification, etc., ont été

1. Qu'on veuille bien regarder la série des thèses de littérature française depuis une trentaine d'années. On verra que, comme celles d'histoire et de géographie, de littérature ancienne et étrangère, de grammaire et de philosophie, elles font, dans l'ensemble, un grand honneur à la Faculté des Lettres de l'Université de Paris; je crois qu'il n'existe, en aucun pays du monde, une collection comparable de travaux savants, où l'érudition soit plus solide à la fois et plus fortement mise au service des idées, où les qualités littéraires de composition et d'expression soient mieux employées à communiquer l'érudition. On s'apercevra sans peine que presque aucune des thèses de littérature française ne s'est maintenue un peu de temps, si elle n'était une application de la méthode que je décris, que cerns de ceux qui la combattent aujourd'hui lui ont dû tout ce 'il y a de valable dans leurs essais, et que les plus brillants prits qui ont cru pouvoir s'en passer, sont demeurés, pour la hesse et la nouveauté des idées, bien au-dessous de certains prits moyens qui savaient travailler.

débrouillés, ou tout au moins posés. Les origines, la formation, la direction des grands courants littéraires ou sentimentaux, des styles et des genres ont été tracées avec plus d'exactitude. Rien n'est fini, tout est en train. Chaque année, des matériaux contrôlés et des répertoires bien faits sont mis par des érudits à la disposition des inventeurs d'idées ; il ne restera bientôt plus d'excuses à l'ignorance paresseuse qu'on nous étale parfois comme une présomption de talent[1].

Sans nul doute les résultats les plus sûrs sont atteints dans les problèmes les plus restreints, et la certitude, comme je l'ai dit, va s'affaiblissant à mesure que la généralité augmente. C'est le cas de toutes les sciences. Mais, de plus, il fallait bien commencer la maison par les fondations, peu à peu la connaissance exacte grossit, monte, atteint des problèmes plus étendus.

Déjà les définitions du génie des grands écrivains, les idées sur la formation et sur l'action des grandes œuvres, se précisent et en quelque mesure se fixent. Il y aura toujours de l'inconnu dans Montaigne et Pascal, dans Bossuet et Rousseau, dans Voltaire et Chateaubriand, dans bien d'autres encore, et de la contradiction à proportion de l'inconnu. Mais il faut n'avoir guère

1. J'insiste là-dessus. Nous ne détournons ni de lire les textes, ni d'avoir des idées, ni d'avoir du goût, ni d'être intelligent. Nous y invitons. Nous demandons qu'on fasse cela ou qu'on soit cela, le plus possible. Plus on fera et on sera cela, plus notre méthode rendra. Toutes les résistances qu'on nous oppose sont, au fond, des résistances de la paresse. Nous demandons du travail, et plus de travail à qui a plus de talent. Ce sont des résistances aussi de la vanité. Nous voulons qu'on travaille utilement, c'est-à-dire exactement pour la vérité, et non pour briller. Nous voulons qu'on s'emploie tout entier à faire connaître son sujet, et non qu'on emploie son sujet à faire valoir. *Inde iræ.*

suivi le mouvement des études littéraires dans ces dernières années, pour ne pas remarquer que le champ des disputes se resserre, que le domaine de la science faite, de la connaissance incontestée, va s'étendant, et laisse ainsi moins de liberté, à moins qu'ils ne s'échappent par l'ignorance, aux jeux des dilettantes et aux partis pris des fanatiques. Si bien qu'on peut sans chimère prévoir un jour où, s'entendant sur les définitions, le contenu, le sens des œuvres, on ne disputera plus que de leur bonté ou de leur malice, c'est à-dire des qualificatifs sentimentaux. Mais de cela, je crois, on disputera toujours.

Nombre de travailleurs aujourd'hui n'ont souci que de bien voir le passé comme il a été. Mais d'autres même, qui, plus ardents ou travaillant sur les terrains brûlants, ne peuvent neutraliser entièrement leurs préférences subjectives, font cependant de bonnes besognes d'historiens et de critiques. Libres penseurs, protestants, catholiques, dans toutes les croyances, il y a des gens — et le nombre en augmente peu à peu — qui comprennent le travail littéraire comme une discipline, et qui s'astreignent à l'emploi des méthodes exactes. S'il reste malgré tout des traces de leurs sentiments dans leurs écrits, du moins y trouve-t-on aussi des parties de connaissance impersonnelle et vérifiée, et dans la loyauté de leur exposition le départ n'est pas difficile à faire la plupart du temps entre ce qu'ils croient et ce qu'ils prouvent.

Enfin l'esprit historique et la méthode critique sont apaisants. C'est un des points encore nous revendiquons pour nos études un des bénéfices de l'activité scientifique. Elle contient,

on le sait, un principe d'unité intellectuelle. Il n'y a pas de science nationale : la science est humaine. Mais comme elle tend à faire l'unité intellectuelle de l'humanité, la science aussi concourt à maintenir ou à restaurer l'unité intellectuelle des nations. Car, s'il n'y a pas une science allemande ni une science française, mais la science, la même et commune pour toutes les nations, encore moins y a-t-il une science de parti, une science monarchiste ou républicaine, catholique ou socialiste. Tous les hommes d'un même pays qui participent à l'esprit scientifique, affermissent par là l'unité intellectuelle de leur patrie. Car l'acceptation d'une même discipline établit une communion entre des hommes de tout parti et de toute croyance. L'acceptation des résultats où conduit la loyale obéissance à cette discipline, forme un terrain solide de vérités acquises sur lequel ces hommes venus de tous les points de l'horizon se rencontrent. L'acceptation de l'arbitrage souverain des règles de méthode, ôte l'aigreur aux disputes et fournit le moyen de les terminer. Sans renoncer à aucun idéal personnel, on se comprend, on s'entend, on coopère : cela mène à l'estime et à la sympathie réciproques. La critique, dogmatique, fantaisiste, ou passionnée, divise : l'histoire littéraire réunit, comme la science dont l'esprit l'inspire. Elle devient ainsi un moyen de rapprochement entre des compatriotes que tout le reste sépare et oppose, et c'est pourquoi j'oserais dire que ni nous ne travaillons pas seulement pour la vérité pour l'humanité : nous travaillons pour la pat

G. LANSON.
Professeur à la Sorbon

LINGUISTIQUE

Le langage est chose complexe, et qui relève de plusieurs sciences : la physique, parce qu'il se compose de sons, la physiologie, parce que ces sons sont obtenus au moyen de mouvements musculaires et perçus par l'oreille, la psychologie, parce que la combinaison de ces mouvements et l'interprétation de ces sons procèdent de faits psychiques. La linguistique tire parti des résultats qui lui sont offerts par l'acoustique, la physiologie et la psychologie; mais elle ne consiste pas à combiner les résultats qui lui sont ainsi fournis; elle a pour objet l'étude du langage, non pas en tant que phénomène sonore ou phénomène musculaire ou sensitif ou que commande de mouvements, perception et intelligence de sons émis, mais en tant que moyen de communication entre êtres appartenant à certains groupes, c'est-à-dire en tant que phénomène social. La linguistique fait partie de la sociologie. Comme toute institution sociale, le langage humain, le seul dont il sera question ici, dépend d'une série illimitée de faits passés; la linguistique est par suite, en un sens, comme les autres sciences sociales, une science historique. Cette situation de la linguistique, au

croisement de tant de sciences diverses, lui impose des méthodes particulières.

I

Si l'on observe le discours d'un sujet parlant et qu'on se propose de l'analyser, on peut se placer à deux points de vue. Ou bien l'on étudie l'émission sonore, indépendamment du sens exprimé par le discours, et l'on fait de la *phonologie*; ou bien l'on étudie cette même émission en fonction du sens exprimé, et l'on fait de la *grammaire* ou de la *lexicologie*.

Les sons n'intéressent le linguiste qu'autant qu'ils expriment un sens; mais il y a lieu d'examiner les sons du langage en tant que sons et abstraction faite de leur valeur significative. Une phrase d'une langue qu'on ne comprend pas produit au premier abord l'effet d'un continu où l'on ne discerne aucun élément isolable. A l'examen, on reconnaît, même sans rien comprendre du sens exprimé, que, dans toute émission linguistique, il y a une série de tenues séparées par des éléments de transition; les groupes complexes ainsi constitués sont ce qu'on appelle les *syllabes;* c'est la première unité phonétique qu'on ait réussi à isoler : les plus anciens alphabets phonétiques sont syllabiques. Un examen plus attentif fait reconnaître que les syllabes sont composées d'éléments qui se rencontrent sensiblement identiques dans des syllabes différentes. Soit la phrase : *les enfants ont empo leur dîner,* qui comporte les syllabes *lé / zen fants / on / tem / por / té / leur / dî / ner* (gardant, pour simplifier, l'orthographe usue

dans la mesure du possible); la tenue est à peu près la même dans *zen*, *fants* et *tem*, ou dans *té*, *ner* et *lé;* le son initial de la syllabe est aussi le même dans *lé* et dans *leur*, dans *tem* et dans *té*. Ces éléments simples sont connus sous le nom de *sons du langage* ou *phonèmes;* on les a discernés de bonne heure. En perfectionnant par la notation régulière des voyelles l'alphabet dit phénicien où chaque consonne était notée par une *lettre* particulière, mais où les voyelles n'avaient d'ordinaire pas de notation, les Grecs ont constitué la notation alphabétique, adoptée à leur suite par la plupart des peuples civilisés. La détermination des phonèmes dans les alphabets phénicien et grec et dans les systèmes innombrables qu'on en a tirés a été la découverte fondamentale de la phonologie; car le phonème semble bien être une unité dernière en matière de phonologie.

Ce n'est pas que le phonème soit chose une, au point de vue acoustique ou au point de vue physiologique. Par exemple, dans la phrase citée, le *t* de *tem* et de *té* comporte un contact de la langue et du palais qui arrête l'émission du souffle et qui est accompagné de cessation des vibrations glottales de la voyelle précédente, un arrêt bref, puis un abaissement brusque du bord antérieur de la langue qui est écarté du contact avec le palais; en tout trois temps distincts, qu'il est aisé de reconnaître, soit qu'on observe les mouvements articulatoires, soit que, par un procédé mécanique, on enregistre les ondulations de l'air qui correspondent à ces mouvements articulatoires. Mais dans le discours du sujet observé, les trois temps sont indissolublement

unis. Il y a d'ailleurs des cas où l'on ne saurait marquer la limite entre un phonème simple et un groupe de phonèmes. Par exemple, une voyelle tenue un certain temps ne reste pas identique à elle-même; sans parler de l'intensité et de la hauteur qui en sont des éléments accessoires, le timbre qui la définit varie toujours plus ou moins; si cette variation est étendue, on dit qu'il y a diphtongue; mais entre une diphtongue *ao* et un *a* dont la fin tend vers *o* il n'y a pas de frontière rigoureuse.

Pour constituer la science des phonèmes et de leurs groupements, qu'on nomme *phonologie* ou *phonétique*, on dispose de deux procédés : l'observation directe par l'oreille, et l'enregistrement par des moyens mécaniques. L'observation par l'oreille seule a abouti à la constitution de l'écriture alphabétique, qui comporte par elle-même une théorie phonétique complète; elle ne peut manquer de fournir tout l'essentiel du langage puisque, abstraction faite de l'écriture, chose récente en somme et qui est loin d'être généralisée chez tous les peuples, chose de plus très imparfaite et qui néglige une infinité de nuances, le langage se transmet par voie orale et qu'il comporte seulement des éléments observables par l'oreille. L'enregistrement mécanique est de deux sortes : on peut enregistrer ou les ondulations de l'air produites par l'articulation, ou les mouvements articulatoires; on a utilisé les deux procédés, sans réussir du reste à étudier encore tous les phonèmes d'une manière satisfaisante : l'ensemble de ces procédés constitue ce qu'on appelle la *phonétique expérimentale*, ou plus justement la *phonétique instrumentale;* on

voit en effet que l'on se borne à enregistrer les articulations et les sons émis, sans les soumettre à des variations qui puissent être qualifiées d'expériences. L'enregistrement mécanique qu'on pratique depuis peu d'années rend de grands services; il permet d'éviter les erreurs que l'on commet dans l'observation directe, soit par suite de l'émoussement de l'attention résultant de l'habitude s'il s'agit de la propre langue de l'observateur, soit par le fait de l'absence d'habitude, s'il s'agit d'un parler étranger; il fournit des précisions très supérieures à ce qu'on peut atteindre par l'oreille seule, notamment quand il s'agit d'apprécier la durée ou la hauteur des sons; enfin, c'est le seul moyen d'analyser d'une manière sûre les phonèmes, de les réduire à leurs éléments, et, par suite, d'en fournir une définition exacte en même temps qu'objective.

Avec les données qu'on a sur la prononciation des divers idiomes anciens ou modernes, proches ou lointains, on constate que, si ces prononciations diffèrent beaucoup au premier abord, les phonèmes de toutes les langues connues se laissent ranger dans un nombre restreint de catégories et qu'ils sont partout produits à l'aide de quelques procédés qui varient peu d'une langue à l'autre. Il y a partout des voyelles et des consonnes. Partout les voyelles forment un système dont les termes extrêmes sont d'une part une voyelle très ouverte plus ou moins semblable à l'*a* français et de l'autre des voyelles très fermées plus ou moins semblables à *i*, *u* et *ou* français. Partout les consonnes se divisent en occlusives, qui comportent un arrêt complet du passage de l'air expiré, et en continues, qui com-

portent un frottement de l'air contre un passage étroit résultant du resserrement des organes articulatoires en un point quelconque. Parmi les occlusives, on distingue par exemple des dentales, où l'occlusion est réalisée au moyen du bord antérieur de la langue, et des gutturales où l'occlusion est réalisée au moyen de la surface supérieure de la langue. Et ainsi de suite. Des phonèmes dont la structure est aussi particulière que celle de la latérale *l* (le type le plus répandu se prononce avec la pointe de la langue appuyée contre le palais et les bords latéraux, ou l'un des bords latéraux, abaissés) se rencontrent un peu partout et à toutes les époques. Il y a donc une phonologie générale, dont la méthode est celle de la classification. Les méthodes employées en phonologie ne diffèrent pas de celles qui ont cours dans les sciences physiques et naturelles. Et en effet la phonologie, à ceci près qu'elle se limite à certains sons qui ont une valeur significative, n'est qu'une partie de l'acoustique et de la physiologie des organes de l'articulation et une combinaison des deux.

Si l'on étudie l'émission linguistique en fonction du sens exprimé, le cas est différent. On rencontre, non plus une, mais deux divisions nettes. D'une part en effet, il y a les éléments qui servent à exprimer les choses, et de l'autre il y a les rapports entre les éléments constitutifs de la phrase, rapports qui sont exprimés par les formes grammaticales, en entendant le terme de formes grammaticales au sens large; d'une part par conséquent l'étude des mots, la lexicologi de l'autre l'étude des formes, la grammaire pr prement dite. Pour désigner tout ce qui e

forme grammaticale, abstraction faite des éléments qui caractérisent le sens propre du mot, on a proposé le terme de *morphème;* il y a avantage à l'adopter, parce qu'il ne suggère pas la notion concrète, trop étroite, à laquelle est lié le nom de forme grammaticale.

Le mot et le morphème ne sont pas toujours choses séparées dans le discours. Dans certaines langues, qu'on qualifie de flexionnelles, le mot et la forme sont intimement unis et forment un ensemble que seule l'analyse peut dissoudre. Par exemple, on dit en latin *mors patris* « la mort du père », et *mors fabri* « la mort du forgeron »; il y a dans *patris*, *fabri* à la fois des éléments qui indiquent le sens de « père » et de « forgeron » et des éléments qui indiquent le rapport de dépendance où se trouvent ici les termes signifiant « père » et « forgeron », par rapport à *mors*. Par cet exemple, on voit en même temps que l'aspect du morphème dépend du mot dans une certaine mesure : il n'est pas le même dans *patris* et dans *fabri*. Malgré ce mélange intime du mot et de la forme grammaticale et cette interdépendance des deux, il faut séparer l'étude des deux ordres de problèmes.

Un trait commun au mot et au morphème, c'est qu'ils n'ont pas *nécessairement* une marque phonique de leur unité. Une phrase qui contient plusieurs mots et plusieurs morphèmes produit sur un auditeur qui ne la comprend pas l'effet d'une émission continue. C'est ce qui fait que ceux des linguistes qui sont avant tout phonéti-
ns contestent souvent la réalité du mot; ils
t, dans une certaine mesure, raison au point
vue phonique, mais la phonologie n'est pas le

tout de la linguistique. Le mot et le morphème sont des réalités en tant qu'ils expriment de façon autonome par des sons, l'un une notion, l'autre une fonction grammaticale. Le mot est si bien une réalité que l'enfant qui apprend à parler commence ou semble commencer par des mots isolés; et tout le monde sait que pour s'assimiler une langue étrangère, il faut arriver à isoler dans les phrases entendues le nom de chaque chose.

Le mot est défini par le rapport entre une notion et un ensemble de phonèmes, en tenant compte des variations qui peuvent résulter des diverses formes grammaticales.

Les différences de forme grammaticale compliquent la définition, sans lui rien ôter de sa rigueur : le mot *cheval* n'est défini que si l'on sait qu'il a dans certains cas une forme *chevaux*, le mot *beau* que si l'on en connaît aussi les formes *bel*, *belles*, *beaux* (*un beau chien*, *un bel enfant*, *de beaux enfants*), le mot *aller* que si l'on remarque l'anomalie de *il va*, *j'irai*, etc.; de même en latin, il n'y a pas un mot *pater* « père » et un mot *faber* « forgeron », il y a d'une part un ensemble *pater*, *patris*, *patre*, etc., de l'autre, un ensemble *faber*, *fabri*, *fabro*, etc.; en bantou, il n'y a pas un mot *muntu* « homme », mais un ensemble *muntu* « homme », *bantu* « hommes », et ainsi dans une foule de cas. Il est facile de préciser ces faits en chaque cas, bien que les auteurs de dictionnaires aient le tort de ne pas le faire toujours complètement.

L'autre partie de la définition du mot, ce du sens, est difficile. On a beaucoup raillé l définitions du dictionnaire de l'Académie; ell

sont mauvaises souvent; mais il est impossible d'en donner de bonnes, surtout en ce qui concerne les termes généraux de la langue courante. La notion vulgaire attachée à chacun de ces mots est d'ordinaire vague et en tout cas ne comporte pas, elle exclut même une définition rigoureuse. Seuls les termes techniques admettent des définitions précises, mais qui ne valent que pour les gens du métier, et ces termes sont souvent dénués de toute signification pour les profanes qui les connaissent, ou s'ils ont un sens pour les profanes, ce n'est qu'un sens vague. Mais l'essentiel de la langue, ce sont les mots courants qui ont sensiblement même valeur pour l'ensemble des membres d'un groupe linguistique. Or, si un auteur de dictionnaire substituait des définitions scientifiques aux définitions vagues qu'on donne d'ordinaire des mots usuels non techniques, il ferait le pire des contresens : il attribuerait à ces mots une valeur qu'ils n'ont que pour quelques spécialistes. Ce qui intéresse le linguiste, ce n'est pas la réalité objective associée au nom, c'est la conception courante de cette réalité. Il faut ajouter que d'ordinaire, quand on prononce ou qu'on entend un mot, l'imagination ne réalise pas la notion qui y est attachée et qu'on se contente du souvenir vague éveillé par le mot. Un mot n'a du reste pas seulement une valeur intellectuelle, il comporte souvent une nuance de sentiment : un *jardinet* n'est pas seulement un petit jardin, c'est un petit jardin pour lequel on a une tendresse; un *château* n'est pas seulement une vaste maison, il s'y ajoute le sentiment admiratif qu'on a pour les choses princières. Le mot a en même

temps une valeur sociale : dans certains groupes d'hommes de langue française, *gueule* ne s'emploie qu'en parlant des animaux, et pas même de tous les animaux; dans d'autres groupes on l'applique couramment à l'homme. Enfin un mot de la langue courante n'est défini que par l'ensemble des phrases où on l'entend et où il est licite de l'employer. Un dictionnaire ne peut donc prétendre à l'exactitude que s'il renferme beaucoup d'exemples; il se rapproche d'autant plus de la vérité qu'il en contient plus, de toutes les sortes existantes. Un dessin, une figuration musicale, un renvoi à un objet connu du lecteur définissent souvent les mots, mieux que de longues explications verbales. En ce qui concerne les langues techniques, le problème est simple : il s'agit le plus souvent d'objets ou d'actes qui comportent — et qui exigent — des représentations graphiques; ou du moins les termes admettent des définitions exactes; la plupart des dictionnaires laissent beaucoup à désirer à cet égard; mais on peut les compléter en recourant à des lexiques ou à des traités spéciaux. On s'est enfin rendu compte depuis quelques années des exigences auxquelles doit satisfaire une bonne étude de vocabulaire, mais les dictionnaires existants, même les plus récents et les meilleurs, ne remplissent qu'une petite partie de ces exigences. La difficulté est immense; car c'est par les mots que la langue est en contact avec toute la réalité, et faire une étude complète des mots, c'est étudier comment toute la réalité se traduit dans l'esprit des divers sujets parlant et par suite dans leur langage; la tâche est sans limites.

Par le fait que les mots sont associés à la variété infinie de la réalité concrète, ils sont pour la plupart isolés les uns des autres. Les familles de mots sont limitées à peu de termes; et, même à l'intérieur d'un groupe donné, les mots ont presque tous leur autonomie : *chantable* n'existe qu'en vertu de l'existence du verbe *chanter*, mais *chanteur* est déjà très indépendant de *chanter*, et *chantre*, *chanson* ne sont presque pas sentis comme formant groupe avec *chanter*. Quant aux termes qui expriment des notions voisines les unes des autres, il importe d'en déterminer la valeur respective, de faire en quelque sorte des dictionnaires d'idées pour chaque idiome; mais le groupement de ces termes est le plus souvent extérieur à la langue, indépendant de ses moyens d'expression, donc arbitraire, et ne comporte d'ailleurs que des déterminations approximatives. Les mots n'admettent par suite aucun classement strictement rationnel. L'étude du vocabulaire comporte un nombre d'articles indépendants égal à celui des mots; le seul ordre où l'on puisse la ranger est celui qui permettra de retrouver les choses, l'ordre des fiches d'une bibliothèque. C'est ce qu'exprime le classement alphabétique des dictionnaires.

Mais le langage humain normal ne se borne pas à l'emploi de mots isolés; les mots sont agencés en groupes, variables suivant le sens à exprimer, et qu'on nomme *phrases*. Beaucoup de mammifères et d'oiseaux sont capables d'émettre un certain nombre de sons qui sont compris par les animaux de leur espèce et provoquent des actions définies; les mêmes animaux comprennent souvent aussi des sons qui leur sont

adressés par des hommes et y obéissent; on peut conduire un cheval à peu près uniquement par la voix; mais chaque mot — car il s'agit de véritables mots — est compris isolément par l'animal, même si on le prononce avec d'autres dans une phrase. Le propre de l'homme est de grouper les mots en phrases. Le groupement doit avoir lieu suivant des formes déterminées pour chaque parler. Ces formes sont ce que l'on a nommé plus haut des *morphèmes*.

Les morphèmes peuvent consister soit en un son particulier, soit en un ordre défini des mots. Ces deux procédés sont distincts au point de vue de la forme; on qualifie l'étude du premier de *morphologie* et l'étude du second de *syntaxe*. Mais, au fond, ils rendent les mêmes services, et il y a lieu de les réunir dans une même division de la linguistique, la *grammaire* ou, plus précisément, la *morphologie*. Soit par exemple les phrases françaises : *Pierre frappe Paul* et *Paul frappe Pierre*, et les phrases latines correspondantes : *Petrus Paulum caedit* (ou, à volonté, *Paulum Petrus caedit*, *Paulum caedit Petrus*, *Petrus caedit Paulum*), et *Paulus Petrum caedit* (avec la même liberté d'ordre des mots que dans le cas précédent); la différence entre l'agent et le patient, qui est indiquée en français par la place respective des trois mots de la phrase, est indiquée en latin par la différence des finales *s* et *m* des deux mots *Petrus*, *Petrum* et *Paulus*, *Paulum*. Les deux procédés peuvent du reste se cumuler; l'allemand par exemple dit d'ordinaire : *der Löwe sieht den Hasen* (le lion voit le liè
et *der Hase sieht den Löwen* (le lièvre voit
lion) avec un ordre de mots à peu près fixe et

plus une marque phonique de différence entre l'agent et le patient. Il n'existe pas d'autre procédé morphologique que les deux qui viennent d'être signalés. L'expression par un son particulier peut affecter des formes très diverses; parfois elle consiste en un élément phonique ayant une certaine étendue et une certaine autonomie et qu'on pourrait qualifier de mot distinct s'il avait un sens propre; ainsi *de* français dans une expression comme le *livre de Pierre* (où l'ordre de mots fixe corrobore l'indication donnée par le morphème *de*, que les grammaires françaises qualifient gauchement de préposition); ailleurs, elle consiste en une variation interne du mot, comme dans le latin : *liber Petri* « le livre de Pierre ». Cette variation intéresse surtout le commencement ou la fin du mot, mais elle n'est pas limitée à ces deux places; souvent elle porte sur l'intérieur du mot; ainsi le nom du « père » a en allemand deux formes, l'une *Vater* pour le singulier, l'autre *Väter* pour le pluriel; c'est-à-dire que le morphème consiste en une alternance des timbres vocaliques de la première syllabe qui sont ici *a* au singulier, *e* (écrit *ä*) au pluriel. Le morphème consistant en un élément phonique peut faire corps avec le mot auquel il s'adapte, et l'on parle alors de *flexion*, ou il peut y être simplement juxtaposé sans fusion intime, et l'on parle alors d'*agglutination;* la différence est fuyante; ce n'est qu'une question de degré.

Donc, quand on distingue la morphologie et l syntaxe, l'une ayant pour objet la forme des ı ots, l'autre la construction des phrases, on fait ı e distinction artificielle et qu'on n'arrive pas ; oursuivre dans le détail. On a souvent séparé

de la morphologie, considérée comme l'étude de la structure des formes grammaticales, la syntaxe considérée comme l'étude du rôle des formes, ce qui est absurde. Du reste ce qui est dans une langue affaire de morphologie est souvent ailleurs affaire de syntaxe. Ainsi, le rôle de la flexion dans le latin *Paulus caedit Petrum* est le même que celui de l'ordre des mots dans le français *Paul frappe Pierre*.

Pour autant qu'ils consistent seulement en règles de position respective des mots, les morphèmes ne servent guère qu'à la construction de la phrase, ainsi qu'on doit l'attendre. Mais les morphèmes caractérisés par des sons, auxquels par conséquent leur autonomie phonique donne une valeur propre, peuvent avoir, outre leur rôle pour la structure de la phrase, une signification concrète. Les mots ont souvent des formes différentes, suivant qu'il s'agit d'un objet unique ou d'objets multiples ; par exemple le *nombre* est une catégorie grammaticale dont on trouve trace dans beaucoup de langues. Il est fréquent que les mots qui désignent une action aient des formes diverses suivant que l'action est présente ou passée, achevée ou inachevée ; les Allemands nomment même le verbe *Zeitwort*, le mot qui exprime le *temps*. Aucune catégorie concrète de ce genre n'est tout à fait universelle. Telle qui tient une place capitale ici n'est que peu ou pas représentée ailleurs. Une langue comme le chinois peut ignorer à peu près toutes les catégories grammaticales à valeur concrète et être pourtant apte à servir d'idiome à une grande civilisation. Une des plus grandes erreurs qu'aient longtemps commises les grammairiens, c'est de chercher

à retrouver dans toutes les langues les mêmes catégories ou l'équivalent des mêmes catégories; l'expérience a montré que, à cet égard, la diversité est grande.

Toutefois, si les catégories grammaticales offrent beaucoup de diversité, elles se laissent ranger en classes comparables à celles où l'on range les diverses sortes de phonèmes. Les types de construction de phrases se laissent aussi classifier. Et même on commence à entrevoir comment, un procédé étant donné, certains autres doivent s'ensuivre ; par exemple, suivant qu'une langue use de morphèmes autonomes postposés ou préposés, il y a une tendance à préposer ou a postposer les mots qui déterminent des mots fléchis de cette manière. L'existence d'une flexion riche qui suffit à marquer ce qui est nécessaire à la structure de la phrase dispense de recourir aux règles de position, tandis que, inversement, il doit y avoir des règles d'ordre des mots strictes là où, comme en chinois, il n'existe aucun élément flexionnel ou bien là où, comme en francais, il y en a un nombre restreint. Sans être exactement les mêmes partout, on constate aussi que les règles relatives à la position des mots obéissent à des tendances dominantes pareilles en des langues différentes. En un mot, il existe les principes d'une morphologie générale qui n'est pas faite, dont on entrevoit seulement les grandes lignes, mais qui pourra se constituer.

Il reste à déterminer comment, dans un ensemble d'émissions linguistiques appartenant à une même langue, supposée connue et comprise, on arrive à isoler les mots d'une part, les morphèmes de l'autre. On observe pour cela les

éléments qui sont susceptibles de se substituer les uns aux autres dans des phrases ayant des structures comparables. Soit des phrases de sens connu telles que : *j'ai vendu un cheval, j'ai vendu un âne, j'ai vendu un bœuf*, etc. ; *le cheval a bu, l'âne a bu, le bœuf a bu*, etc. ; *j'ai vendu des chevaux, j'ai vendu des ânes, j'ai vendu des bœufs*, etc. ; *les chevaux ont bu, les ânes ont bu, les bœufs ont bu*, etc. Les êtres dont il est question sont désignés respectivement par *cheval, chevaux; âne, ânes* (prononcés de même) ; *bœuf, bœufs ;* les autres parties de la phrase restent les mêmes : on a ici les noms de ces animaux ; on remarque que deux de ces noms ont des formes distinctes suivant qu'il s'agit d'un ou plusieurs animaux. On a donc déterminé à la fois trois mots et des formes grammaticales. Il suffit de rapprocher les deux séries de phrases pour constater que le nom de l'être sur lequel on exerce une action se place après le mot qui désigne cette action, tandis que, inversement, le nom de l'agent se place avant le mot qui désigne l'action : c'est l'une des règles fondamentales de position de la langue française. Pour déterminer les mots qui désignent l'action, il suffit de les faire varier à leur tour : *tu vendras un cheval, ils vendaient un cheval, vends un cheval*, etc. On détermine ainsi un mot à formes multiples ; *je vends, je vendais, j'ai vendu, vendre*, etc. Pour déterminer à leur tour les éléments morphologiques compris dans ce mot, on fait varier le mot : *il vendait un cheval, le cheval buvait, il aimait cela ;* on obtient ainsi un morphème *-ait*, dont la valeur et le r seront déterminés en observant d'autres substitutions. Quand il s'agit d'une langue dont on

jamais fait la grammaire ni dressé le vocabulaire, ce procédé est lent et laborieux, quelque simplification qu'on y apporte. Mais on n'en possède pas d'autre. On n'obtiendrait naturellement rien en interrogeant directement un sujet parlant ; c'est de phrases complexes qu'on extrait le vocabulaire et la grammaire. La phrase est la seule réalité concrète à laquelle le linguiste pourra s'attaquer ; mais c'est une réalité transitoire, qui ne comporte pas par sa nature de répétition sous une forme identique. Seuls le phonème, le mot et le morphème sont des espèces définies, parce que ces éléments se retrouvent sensiblement identiques à eux-mêmes dans un nombre illimité de phrases.

En résumé, l'analyse du langage amène à dégager trois sortes d'éléments : les *phonèmes*, qui sont les éléments de la phonologie ; les *mots*, qui sont les éléments du vocabulaire ; les *morphèmes*, qui sont les éléments de la grammaire proprement dite. Chacune de ces trois parties de la science des langues a ses procédés propres, de même qu'elle a son objet. Et c'est une singularité de la linguistique que d'avoir à opérer constamment avec trois éléments différents et si étroitement unis qu'il s'agit en réalité de trois manières d'envisager un même objet, l'émission sonore employée dans le discours. Mais les difficultés des méthodes linguistiques ne sont pas épuisées quand on a reconnu les trois types d'unités fondamentales : le phonème, le mot, le morphème.

II

Outre les éléments constitutifs de tout langage humain, le linguiste doit envisager une autre sorte d'unités : les diverses langues qui sont pour lui autant d'objets d'étude distincts. C'est ici qu'apparaît le caractère social du fait linguistique.

Dans un groupe social où la population est homogène, le parler a normalement un certain degré d'unité. C'est une condition nécessaire à l'existence même du langage que le souci pour tous les sujets parlants appartenant à un même groupe d'employer les mêmes procédés linguistiques. Les membres d'un groupe défini en ont conscience : les déviations de la normale linguistique choquent ceux qui les entendent et exposent au moins à des railleries ceux qui viennent à les commettre. Il y a donc pour chaque groupe social une normale linguistique définie par une réaction du groupe. Ce sont ces normales qu'on peut appeler des *langues*.

Le linguiste a à déterminer en quoi consistent ces normales, dans quelles mesures s'en rapprochent les sujets parlants et jusqu'où s'étend le domaine de chacune.

L'unité de parler est commandée par l'unité du groupe social. Tout groupe social un et homogène tend à avoir un parler également un ; tout groupe ou sous-groupe tend à avoir un parler propre dans la mesure de son autonomie. C principe ne constate d'ailleurs qu'une possi lité et ne permet jamais de prévoir ce qui passe dans chaque cas particulier.

L'expérience montre qu'il tend à y avoir autant de parlers distincts qu'il y a d'agglomérations locales. Les hommes qui vivent rapprochés sont naturellement ceux qui parlent d'une même manière. Le parler local est par suite une unité élémentaire que le linguiste est souvent amené à considérer.

Mais il n'y a là rien d'absolu. Toute hétérogénéité de la population risque de se traduire par des différences de parler dans la population d'une seule et même localité. C'est ce qui arrive notamment là où deux populations sont juxtaposées sans se mêler, par exemple les Juifs et les Polonais en Pologne ou les diverses populations du Levant et du Caucase : on peut rencontrer dans une même localité de l'Empire ottoman des Musulmans qui parlent turc, des Grecs qui parlent grec, des Arméniens qui parlent arménien, des Juifs qui parlent le judéo-espagnol, sans parler des colonies étrangères qui emploient leur idiome national ; à Alger ou à Tlemcen, l'arabe parlé par les juifs n'est pas le même que celui que parlent les musulmans. La différenciation sociale peut, dans un milieu relativement homogène, produire des effets analogues : dans une localité française, le langage diffère suivant qu'il s'agit de la bourgeoisie aisée qui a reçu une culture supérieure et parle partout le français commun — généralement avec des particularités régionales, surtout dans la prononciation et le vocabulaire — ou de la population paysanne et ouvrière qui parle plus ou moins le patois local. Chaque profession, chaque groupe a des particularités ; on connaît les langues de métiers, les argots des diverses écoles, les argots des malfai-

teurs, etc. ; ces parlers de sous-groupes ne diffèrent d'ordinaire du parler général de la localité que par le vocabulaire ; la prononciation et les formes grammaticales ne présentent guère de particularités propres. Enfin il existe des langues spéciales à certaines fonctions ; ainsi l'homme qui accomplit une cérémonie religieuse, qui est entré dans le monde du sacré, ne peut s'exprimer de la manière ordinaire ; de là l'existence de langues religieuses. Chez les civilisés modernes où la fonction religieuse est spécialisée et chez qui la religion ne tient pas de place dans la vie courante, les langues religieuses n'ont qu'une importance secondaire ; elles en ont une grande chez les peuples de civilisation inférieure, où la religion intervient à tout instant.

Le terme de *parler local* a donc besoin d'être précisé par la mention du groupe social auquel appartient ce parler. Dans l'Europe occidentale, il s'applique à des couches de population relativement pauvres et peu cultivées ; dès qu'une population devient aisée et a un commencement de culture, l'abandon du parler local est le plus souvent prochain. Il tend à s'établir des langues communes qui servent à de vastes régions : l'anglais, l'allemand, le français, par exemple.

Même dans la forme la plus courante du parler le plus un, en dehors de toute hétérogénéité de la population, en dehors de toute langue spéciale, il existe un ordre de différences qu'on ne peut éliminer, celui qui est dû aux différences d'âge entre les sujets. Il ne s'agit pas ici des particularités que présentent les enfants dont l'apprentissage linguistique n'est pas achevé ou les vieillards dont les organes sont altérés par l'âge

mais chaque génération apporte des innovations; et des sujets également normaux, mais d'âges différents, ont en principe des différences appréciables dans leur langage.

En face du parler local, il y a deux sortes d'unités plus larges : le *dialecte* et la *langue commune*.

La notion de dialecte est délicate et très controversée. Il n'y a pas lieu d'entrer ici dans cette discussion. Il suffit de marquer le principe général. Sur tout le domaine où les sujets parlants, employant chacun leur parler local, se comprennent entre eux, on peut dire que l'on parle la même langue. On peut aller plus loin encore : un Normand et un Franc-Comtois ne comprennent pas le parler local l'un de l'autre, mais si l'on parcourt les localités intermédiaires entre la Normandie et la Franche-Comté, on rencontre une série continue de parlers locaux qui sont intelligibles chacun pour les voisins immédiats ; il n'y a pas de point où l'on puisse marquer une séparation ; de même un Bernois et un Silésien ne se comprennent pas ; mais on passe des parlers bernois aux parlers silésiens par une série de transitions. Les transitions sont parfois insensibles sur de vastes domaines, parfois au contraire assez brusques ; quand les différences de parler sont nombreuses sur un espace restreint, on est en présence d'une limite de dialectes ; mais les limites de chacune des diverses particularités par lesquelles les parlers locaux se distinguent les uns des autres ne coïncident néralement pas ; la limite entre deux dialectes est pas constituée par une ligne, mais par une ande de territoire plus ou moins large. Dans

les cas de ce genre on considère encore les divers parlers comme faisant partie d'une même langue, en l'espèce le français et l'allemand, bien que les sujets parlants ne se comprennent pas nécessairement tous les uns les autres. Une langue entendue en ce sens large, comporte des groupes de parlers qui présentent des concordances sensibles aux sujets parlants ; ce sont ces groupes qu'on nomme *dialectes*. Il va de soi que ces groupes dialectaux s'expliquent par l'existence de relations régulières entre les hommes qui emploient les parlers locaux ainsi groupés. La notion de dialecte est vague, on le voit, tandis que celle de parler local est relativement précise, si l'on définit exactement le groupe social qui emploie ce parler, et si l'on élimine tout ce qui est hétérogène.

La notion de *langue commune* n'est pas moins précise. Toute région étendue dont les habitants entretiennent entre eux des relations fréquentes et régulières et se considèrent comme formant un groupe un tend à avoir une langue une, même si les parlers locaux diffèrent beaucoup entre eux. Il se constitue ainsi une langue commune, qui est en général la langue officielle du groupe, et qui sert à ses manifestations collectives en même temps qu'aux rapports entre les localités. Une langue commune de ce genre n'a pas l'unité d'un parler local. Les causes qui provoquent un manque d'unité sensible dans les parlers locaux s'y retrouvent amplifiées. Surtout il existe, à l'intérieur du grand groupe qui a une langue commune, des sous-groupes dont chacun a ses particularités linguistiques. Il y a dans les villes européennes des différences de parler appréciables, et parfois très fortes, suivant les positions

sociales, les professions, les groupements passagers (école, caserne, etc.). La situation des individus peut devenir complexe : une même personne est amenée à parler de façon différente suivant les interlocuteurs auxquels elle s'adresse. — De plus une langue commune s'applique par définition à une région ayant une certaine étendue, et où par suite il y a, ou bien il y a eu dans le passé, des parlers locaux distincts. Certains éléments de ces parlers agissent sur la langue commune, de sorte que, en chaque endroit, celle-ci présente un aspect particulier. Le français commun n'est pas le même suivant les provinces françaises ; l'anglais n'est pas exactement le même à Londres et à Edimbourg, à New-York et à Melbourne. Il arrive que les prononciations locales ou du moins régionales sont presque entièrement retenues : avec un vocabulaire et une grammaire sensiblement uns, l'allemand commun a encore autant de prononciations différentes qu'il y a de provinces où on l'emploie. — Pour décrire une langue commune d'une manière exacte, il faut par suite marquer sur quels points il existe des variations licites ; la détermination des tolérances admises fait — ou du moins doit faire — partie intégrante de la description.

Toutes les langues communes que le linguiste a le moyen d'observer comportent une forme écrite. La plupart des variations de prononciation par lesquelles se distinguent les régions et les classes sociales n'y sont pas exprimées : un même signe *a* répond en français à des prononciations diverses suivant les sujets observés ; le signe a une valeur spécifique et ne tient pas compte des nuances.

Les divergences tendent à s'effacer dans la langue écrite, qui représente la forme commune par excellence. Stable par nature, la langue écrite sert à fixer la langue commune et exerce sur celle-ci une influence conservatrice.

Outre l'élimination des particularités locales ou régionales par l'imprécision de la graphie ou par une négligence voulue, la langue écrite se distingue de la langue parlée par nombre de traits. D'une part, elle maintient d'anciens usages et retarde sur la langue parlée. De l'autre, ne disposant pas de tout ce que la situation respective des sujets parlants, l'entourage, les gestes, le ton de voix donnent de clarté à la parole prononcée, elle doit appliquer avec rigueur les règles morphologiques et employer les mots avec une justesse particulière, sinon elle est obscure ou inintelligible. La langue écrite met donc en évidence les formes grammaticales et la valeur des mots ; à ce point de vue, elle est précieuse pour le linguiste ; on en voit l'utilité quand on essaie de décrire une langue qui ne s'écrit pas. Mais on a une idée fausse d'une langue parlée si l'on en juge seulement par la langue écrite correspondante. Une personne habituée à écrire éprouve une stupeur s'il lui arrive de voir sténographier ses paroles prononcées dans la conversation, ou même dans un discours improvisé. D'ailleurs, par suite des conditions indiquées ici, par suite aussi du fait que la langue qui s'écrit est parfois une langue religieuse ou une langue étrangère ou à demi étrangère, une langue écrite est souvent une langue spéciale, et il arrive qu'e n'a presque rien de commun avec la langue parl de ceux qui l'emploient.

L'objet de l'étude du linguiste est donc singulièrement complexe et varié : de la simplicité relative des grammaires où sont décrites les langues communes à la diversité des faits linguistiques dont on vient de donner un aperçu, il y a loin. Et même les linguistes l'oublient souvent.

Il est impossible d'entrer ici dans l'examen des difficultés que l'on rencontre à déterminer exactement les faits. S'agit-il d'un parler local, les gens qui l'emploient sont en général dépourvus de l'éducation linguistique nécessaire pour le décrire ; les étrangers outre qu'ils l'entendent plus ou moins imparfaitement, ont beaucoup de mal à déterminer quels sont les sujets qui parlent normalement et, une fois ces sujets trouvés, à obtenir d'eux des renseignements ; car les sujets parlants n'ont pas une conscience nette de la façon dont ils parlent ; le fait même qu'un sujet s'adresse à une personne qui n'est pas de celles avec lesquelles le parler est normalement employé suffit à rendre l'usage incertain et souvent inexact. L'exposé est aussi difficile à présenter : si on le fait au point de vue du parler lui-même, il est très long ; la description complète de tous les parlers d'une région serait si volumineuse que personne ne pourrait l'utiliser ; si l'on fait l'exposé par rapport à un dialecte ou à une langue commune, la description est faussée en principe. — On n'éprouve pas cet embarras pour les langues communes, parce que leur existence même suppose qu'on en a formulé plus ou moins consciemment les règles ; mais on se trouve alors en présence d'arrangements assez artificiels et qui ne donnent pas une idée juste de la façon dont

le langage se comporte là où il évolue sans que les sujets en prennent nettement conscience. — Les langues écrites sont les plus faciles à étudier ; mais on a vu combien peu il est permis d'en conclure à ce qu'est le langage parlé.

En ce qui concerne les langues anciennes, on ne dispose que de textes écrits ; on ne doit donc jamais oublier qu'il ne faut pas raisonner comme si l'on possédait la langue parlée. A ceci près, la situation de l'historien du langage est plus favorable que ne l'est celle des historiens ordinaires. En effet, les témoins qui écrivent le récit des événements y sont intéressés, et leur récit est tendancieux ; ils visent à une action déterminée et déforment par suite les événements ; les faits, qui ne sont pas exposés pour eux-mêmes ne sont indiqués que fragmentairement et par allusion. Au contraire, les textes dont se servent les linguistes ont été écrits pour être compris ; ils sont, sauf exception, des représentants normaux de la langue écrite du groupe pour lequel les textes sont rédigés ; s'il a écrit pour tromper le lecteur sur les faits, l'auteur a du moins employé la langue sans intention relative à la langue même ; et un texte, pourvu qu'il ait une étendue suffisante, donne une idée complète de la structure de la langue employée. L'histoire de la langue opère donc ici avec des témoignages dont les historiens proprement dits peuvent envier la sincérité et l'intégrité. En revanche, si les textes employés ne sont pas conservés dans des manuscrits ou des monuments contemporains de la composition, le linguiste doit se défier encore que l'historien : la langue des textes souvent modifiée par les copistes et les édit

au fur et à mesure que la langue parlée et la langue écrite se transforment, surtout dans les temps qui suivent de près la composition. Le linguiste doit donc appliquer sévèrement les règles de la critique historique à tout texte qui a passé par des intermédiaires postérieurs à la première fixation.

Quoi qu'il en soit, les témoignages ne valent la plupart du temps que pour la langue écrite, et l'on ne peut se faire, même dans les cas les plus favorables, qu'une idée imparfaite et toute partielle de la forme parlée d'une langue ancienne. On verra plus loin, à propos de la linguistique historique, par quel remarquable artifice de méthode la grammaire comparée a tourné cette difficulté.

Qu'il s'agisse d'un parler local, d'une langue commune ou d'une langue écrite, ce que constate le linguiste, ce n'est pas la langue même, ce sont seulement les manifestations extérieures qui en traduisent l'existence et grâce auxquelles elle se transmet et se maintient. La langue est un être idéal qu'on n'a aucun moyen d'atteindre directement ; elle existe seulement en tant qu'un certain nombre d'individus possèdent des habitudes articulatoires parallèles et des associations de certains sons avec certaines notions. En un sens, chacun des individus qui parlent la langue possède en lui-même toute cette réalité qui est une réalité purement psychique. Mais on ne peut parler de langue qu'autant que cette réalité ~~~istant chez un individu rencontre en face d'elle utres réalités parallèles, ou du moins qu'elle a rencontré ou pu rencontrer dans le passé : langue n'est langue qu'en tant qu'elle est un

instrument de communication, servant à provoquer chez d'autres sujets certaines réactions déterminées.

Même en réfléchissant sur lui-même, le linguiste ne peut observer que des faits linguistiques particuliers, des phrases et des mots, et non pas en général la capacité qu'il a de constituer ces formes, ni le mécanisme au moyen desquels il les émet, les pense ou les comprend ; la réalité intime de sa langue échappe au linguiste autant qu'à tout autre sujet parlant. On peut observer par tous les moyens existants un phonème, un mot, un morphème ; mais ce ne sont là que des réalités transitoires, qui ne sont jamais réalisées deux fois identiques à elles-mêmes et qui n'ont aucune valeur durable. L'être vivant qu'étudie le naturaliste n'est aussi qu'un représentant transitoire d'une espèce qui est la véritable réalité ; mais il a pour un temps une existence autonome et par là une certaine mesure de réalité propre. Le phénomène linguistique fuit au contraire immédiatement, dès qu'il a été pensé, émis ou entendu ; il n'a pas de durée, à moins que l'écriture ou une inscription mécanique n'en fixe le souvenir ; mais le souvenir d'un phénomène, pour fixé qu'il soit, ne devient pas une réalité autonome. Afin de l'étudier, le linguiste l'enregistre et fait durer sous ses yeux la parole émise ; mais l'objet de son étude n'est pas cette chose fixée, morte ; c'est une réalité impalpable que rien ne permet d'atteindre directement.

La réalité intime du langage, c'est le système d'associations qui existe dans l'esprit de chacun des sujets parlants d'un même groupe linguistique, et c'est en même temps l'obligation qui

s'impose à chacun d'eux de maintenir un parallélisme exact entre tous ces systèmes. Réalité purement sociale, la langue est à la fois *immanente* et *extérieure aux individus.*

Chacune des émissions linguistiques que le linguiste a occasion d'observer soit sur lui-même, soit sur autrui est une manifestation externe de cette réalité, mais elle n'en reproduit jamais toute l'image ; des circonstances particulières lui donnent à chaque fois un aspect propre. D'ailleurs, la langue renferme des possibilités qui n'ont jamais été réalisées, et qui n'attendent pour l'être que des circonstances favorables. Normalement le verbe *voler* (s'élever dans les airs) n'a pas comporté jusqu'ici la première personne ; le jour où l'on en a eu besoin, personne n'a hésité à former *je vole, j'ai volé, je volerai, je volerais*, etc. Quand on a fabriqué le verbe *télégraphier*, ou le verbe *téléphoner,* personne n'a eu d'embarras pour dire *je télégraphierai* ou *j'ai téléphoné.* La langue n'est pas fixée une fois pour toutes : c'est une possibilité d'action, une puissance. Ce que le linguiste a à décrire, ce n'est donc pas un ensemble de faits donnés, mais un ensemble de possibilités susceptibles de se réaliser le cas échéant. Les faits donnés ne sont pas ici l'objet même de la recherche ; ils ne sont que les moyens grâce auxquels on peut indirectement se rendre compte de cet objet.

La détermination de cet objet idéal est relativement facile, on l'a vu, pour autant qu'il s'agit de langues écrites ou de langues communes — ce qui revient au même dans une large mesure. Car ici, par définition, le modèle idéal est fixé avec une précision parfois grande, avec minutie, et

des sujets nombreux et bien différents visent d'une façon plus ou moins consciente à s'y conformer

S'il s'agit de parlers locaux, la difficulté est au contraire grande. De l'observation il faut induire le type normal. On y parvient en fixant un plus ou moins grand nombre d'émissions linguistiques d'un nombre plus ou moins grand de sujets. En principe, comme tous les sujets d'un même groupe doivent avoir des parlers sensiblement identiques, abstraction faite des types de variations dont on a donné ci-dessus un aperçu, on peut se borner à observer un individu unique; et en effet il ne manque pas de descriptions de parlers qui reposent sur l'observation d'un seul individu. Mais un sujet, si bien choisi soit-il, peut présenter de menues anomalies à quelques égards ; il est même rare qu'un sujet soit absolument normal ; un sujet peut aussi présenter des lacunes, notamment dans le vocabulaire ; chaque personne a en parlant ses usages propres qui, tout en étant conformes au type normal, n'y sont cependant pas essentiels. Il importe donc d'observer plusieurs sujets. L'observateur est obligé pour obtenir une norme, d'éliminer toutes les circonstances qui donnent au parler des sujets étudiés un aspect particulier ; faute de savoir quelle est la norme, il ne peut que marquer les limites entre lesquelles se meut chacun des éléments de la langue. Sauf dans le cas où l'on voit que les gens qui usent du langage étudié sont choqués par telle ou telle manière de parler, on ne peut que constater des moyennes. Une norme ne se laisse formuler et constater précisément que là où les sujets parlants en ont quelque conscience.

L'observation même des faits locaux est très difficile. Il est rare que l'observateur connaisse le parler local comme une langue maternelle. Il en est donc réduit à interroger les sujets. Or, de quelque manière qu'il s'y prenne en interrogeant, il risque de fausser la manière dont les personnes observées s'expriment dans les conditions ordinaires de leur vie. On sait à peu près comment doivent être faites les observations pour avoir une valeur certaine ; mais il est le plus souvent impossible d'observer avec cette précision et cette rigueur, et la plupart des faits locaux qui ont été recueillis l'ont été d'une manière qui provoque certaines critiques — ce qui ne leur enlève pas leur valeur et n'empêche pas de les utiliser correctement au point de vue historique, grâce aux avantages de la méthode comparative.

C'est pour cela que les langues communes et les langues écrites, dont l'importance pour le développement linguistique est du reste considérable, souvent dominante, se prêtent le mieux à être étudiées. Mais les conclusions qu'on en tire doivent être corrigées par l'étude des parlers locaux parce que ce qui apparaît dans les unes comme des données fixées, n'a dans les autres que le caractère d'une norme idéale. Or, c'est le type des parlers locaux qui représente le type ancien, et c'est là que s'expliquent en grande partie les changements linguistiques dits spontanés.

III

.iaque langue est le produit d'une évolution h torique où interviennent des influences multi es et diverses. Plus encore que toute autre

institution sociale, la langue ne comporte par suite une explication qu'à l'aide de l'histoire. Sans doute on peut et l'on doit décrire chaque idiome pour lui-même sans faire intervenir aucune considération historique. Sans doute on peut et l'on doit déterminer les principes généraux de la structure du langage, sans se demander comment ils se sont établis ; comme toutes les langues connues, tant présentes qu'anciennes, appliquent au fond certains principes communs, on serait du reste amené au problème de l'origine du langage, qui n'admet pas de solution scientifique, dans l'état actuel des connaissances. Mais les moyens d'expression propres à chaque parler ne comportent qu'une explication historique, toujours partielle d'ailleurs.

L'histoire des langues ne se fait pas seulement avec des textes. La plupart des langues actuellement parlées n'ont commencé d'être écrites qu'à une date récente, beaucoup seulement à l'époque contemporaine. Les langues, peu nombreuses, pour lesquelles on a des témoignages relativement anciens, — énormément postérieurs aux plus anciens restes subsistants de l'humanité — sont en partie sorties de l'usage : le babylonien, le susien, l'égyptien ne sont représentés par aucun parler actuellement vivant. Là où l'on a des textes anciens de langues encore parlées, les données sont discontinues : par exemple pour les langues iraniennes dont le cas est des plus favorables, on a d'abord la langue des inscriptions achéménides (fin du VIe siècle av. J.-C.) et celle (en partie peut-être un peu plus ancienne) de l'Avesta, connues d'une manière fragmentaire, puis, après un long temps, la langue officielle

de l'époque sassanide (IIIe siècle après J.-C.), et celle des textes manichéens trouvés à Tourfan, puis vers le Xe siècle le persan littéraire, et enfin, à l'époque contemporaine, de nombreux parlers. Le vieux perse de Darius, le pehlvi de Tourfan et celui des Sassanides, le persan de Firdousi, le persan officiel actuel représentent quatre moments d'une langue qui semble être à peu près la même ; mais on n'a pas de textes pour relier chacun de ces moments au précédent et au suivant ; entre le vieux perse de Darius et la langue des Sassanides, en particulier, il s'est produit une transformation radicale, sur laquelle on n'a aucun témoignage explicite. Quant aux parlers iraniens modernes autres que le persan — et le groupe des parlers du Pamir dont le vieux sogdien récemment découvert fournit la forme ancienne,— aucun n'a une histoire. En revanche, on ignore quel est le parler moderne qui continue peut-être la langue dont les textes avestiques ont fixé le souvenir. — Les langues romanes sont des transformations diverses du latin ; mais la langue littéraire latine n'explique pas les langues néo-latines ; c'est d'un latin parlé, non du latin écrit qu'il faut partir ; et si quelque chose de ce latin parlé transparaît dans certains textes, on ne peut apprécier la valeur de ces traces isolées que par la comparaison des idiomes romans. Entre les premiers textes de chaque langue romane et le latin écrit, il y a un hiatus énorme. — Même dans le cas relativement favorable où une langue n'est pas fixée une fois pour toutes et ne reste pas, comme le sanskrit et le latin littéraire, presque inuable au cours des siècles, les textes permettent parfois d'entrevoir la langue parlée, ils

n'en donnent jamais une notation exacte, on l'a vu. Une grammaire historique qui se borne à suivre les variations de la langue des textes écrits est chose puérile. Le linguiste est donc conduit à user de procédés qui lui sont propres, ceux de la *grammaire comparée*.

La grammaire comparée repose sur quelques principes fondamentaux qu'il importe de formuler explicitement ; car la plupart des erreurs qui se commettent en linguistique proviennent d'un usage des procédés de la grammaire comparée dans des cas où ces principes ne peuvent s'appliquer.

Le premier principe est que les langues procèdent par transformation d'éléments existants, non par création. Qui doit nommer un objet nouveau, emprunte d'ordinaire les éléments du mot à sa langue ou à une langue étrangère, ainsi pour l'allemand *fernsprecher* (de *fern* « loin » et *sprecher* « parleur »), pour le français *téléphone* (du grec *têle* « loin », et *fônê* « voix »). Il arrive cependant qu'un mot soit créé, ainsi le mot *gaz* ; mais le souvenir de mots entendus s'y retrouve, et *gaz* rappelle l'allemand *geist* « esprit ». La création de mots expressifs n'a jamais cessé ; mais des mots français créés pour indiquer les bruits, comme *crisser, craquer, croquer,* entrent dans des séries de formes existantes ; il ne s'agit donc pas d'une pure création et ce cas est du reste assez limité. Des individus anormaux ou des enfants placés dans des conditions anormales se sont souvent créé des vocabulaires nouveaux ; mais, outre qu'on y reconnaît presque partout des éléments linguistiques que les inventeurs ont eu occasion d'entendre, ces vocabulaires disp-

raissent au plus tard avec les individus qui les ont constitués. Abstraction faite des langues universelles qu'on a fabriquées et qui n'ont du reste été viables que dans la mesure où elles utilisaient des mots existants sans les trop déformer, il n'y a pas d'exemple qu'on ait essayé de créer des systèmes de formes grammaticales. On a souvent fabriqué des vocabulaires dont la vie a été brève; sauf pour les langues artificielles, on n'a pas créé des prononciations ni des grammaires. Si donc il n'est jamais certain qu'un mot ne soit pas en quelque mesure une création, si par suite un mot donné peut n'avoir pas d'étymologie, on doit admettre *a priori* qu'un système articulatoire et un système grammatical donnés continuent tel ou tel système d'une époque antérieure.

Le second principe est celui-ci : l'expression linguistique n'a avec les choses à exprimer aucun lien de nature, mais seulement un lien de tradition. Si *je dis* s'applique à celui qui parle, *tu dis* à celui à qui l'on parle et *il dit* à celui dont on parle, ce n'est pas que *je, tu* et *il* aient rien en eux-mêmes qui exprime l'une des trois personnes, c'est seulement que dans un groupe d'hommes déterminé, il est traditionnel d'employer ainsi ces formes. Devant un discours ou un texte écrit en une langue radicalement inconnue, le linguiste le plus exercé est par suite aussi impuissant que tout autre homme. Sans doute toutes les langues comprennent un certain nombre d'onomatopées et de mots expressifs nt le son a quelque rapport avec celui des ɔses à exprimer; sans doute aussi certaines tions s'expriment ordinairement par certains ɔes de sons, ainsi l'objet rapproché par les

voyelles de timbre clair et l'objet éloigné par des voyelles de timbre sombre, le contraste de *ici* et *là* en français, ou en allemand de *hier* et *dort* par exemple, n'étant sans doute pas fortuit ; sans doute enfin certains ordres des mots sont plus naturels que d'autres : par exemple dans une phrase nominale telle que : *l'homme est bon*, le sujet dont on énonce quelque chose se place plus ordinairement (mais non pas toujours) avant le prédicat qui exprime la qualité affirmée. Mais les particularités de ce genre, dont le nombre est limité, ne suffisent ni à définir une langue, ni à faire comprendre une langue inconnue. Tout ensemble de concordances de détail entre deux langues provient donc d'un lien traditionnel entre les deux.

La tradition peut avoir lieu de deux manières.

La langue se transmet normalement par le fait que les enfants en apprenant à parler, s'assimilent la langue de leur entourage, donc du groupe social auquel ils appartiennent par leur naissance. Il arrive que si deux langues sont parlées dans l'entourage de l'enfant, celui-ci soit bilingue dès la fin de son apprentissage linguistique ; mais c'est un cas rare, et qui, là où il a lieu, ne dure généralement pas, l'une des langues éliminant l'autre dans le groupe.

D'autre part, et ceci est l'autre type de transmission, si un individu outre sa langue maternelle A, connaît une seconde langue B, il est sujet à introduire dans la langue A des éléments appartenant à la langue B ; et même des personnes qui ne connaissent pas la langue B pourront reproduire ces éléments qui par l'usage en viendront à faire partie intégrante de la langue A. C'est ce qu'on

appelle l'*emprunt*. Il est maintenant reconnu que l'emprunt joue dans le développement des langues un grand rôle; il est non pas exceptionnel mais fréquent et normal, tout comme la transmission du parler des parents aux enfants. Il y a deux cas, suivant que la langue A et la langue B sont absolument distinctes, ou bien qu'elles apparaissent aux sujets parlants comme deux formes d'un même idiome réductibles l'une à l'autre au moyen de substitutions régulières. Quand un Français introduit dans son discours un mot anglais, ou un Turc un mot arabe ou persan, l'emprunt est évident. Mais, quand un habitant d'un village de la France du Nord use dans son parler d'un mot français, ou qu'il fait un mot français d'un mot de son patois, il emploie des substitutions régulières : ce que le français prononce *wa* (*w* notant *w* consonne, *w* anglais) est *wé* dans le parler local par exemple; le sujet parlant a conscience de ces correspondances; et en passant de son parler local au français ou inversement, il fait les substitutions convenables, de telle sorte que les emprunts sont souvent déguisés; il est impossible de dire si un mot prononcé *lwé* dans un parler français est un mot local ou un emprunt au français commun *loi*, emprunt déguisé par la substitution de la prononciation patoise *lwé* à la prononciation française commune (parisienne) *lwa*. Dans les cas de ce genre, les emprunts sont très nombreux, et il y a une sorte de passage insensible et constant d'une langue à l'autre. Dans le parler d'un paysan français (de la France du Nord, les parlers méridionaux étant à part), le patois est souvent du français patoisé et le français du

patois francisé. Ces emprunts sont en partie impossibles à discerner de ce qui provient de la transmission de la langue d'une génération à la suivante ; et ils peuvent s'étendre à tous les phénomènes linguistiques : prononciation, grammaire, vocabulaire. Si, au contraire, il s'agit de deux langues qui sont tenues pour nettement distinctes par les sujets parlants, les emprunts se limitent au vocabulaire, ou tout au plus, à quelques procédés de formation des mots ; on n'emprunte pas à une langue étrangère une forme grammaticale isolée. Quand on emprunte à une autre langue des formes grammaticales, on adopte d'ordinaire tout le système, en abandonnant celui de sa langue maternelle, et c'est ce qui s'appelle changer de langue.

Tout ensemble de concordances systématiques dans les formes grammaticales de deux langues prouve donc que ces deux langues sont des transformations d'une seule et même langue ; car les formes n'ayant avec les choses aucun rapport nécessaire, la présence d'un ensemble de formes concordantes dans deux langues distinctes est chose invraisemblable. Si l'italien, l'espagnol et le français n'étaient pas au point de vue historique une seule et même langue, à savoir du latin transformé de trois manières différentes, on ne s'expliquerait pas l'emploi de italien *io*, *tu*, *egli*, espagnol *yo*, *tu*, *el*, français *je* (vieux français *yo*), *tu*, *il* pour le pronom des trois personnes au singulier, et toute les coïncidences systématiques innombrables qu'offrent les trois langues.

Le problème qui se pose à l'historien du gage est donc celui-ci : étant donné que les lan

ne créent pas, qu'elles transforment seulement et que l'expression linguistique est en principe traditionnelle, déterminer ce qui dans les concordances de deux ou plusieurs langues peut provenir de développements indépendants et ce qui suppose une tradition commune à ces langues. Une concordance isolée de vocabulaire peut être l'effet du hasard ; ainsi quand *bad* signifie « mauvais » à la fois en anglais et en persan, ou elle peut résulter d'emprunts indépendants à une même langue. Mais un ensemble de concordances grammaticales portant sur des morphèmes définis, et non pas seulement sur les règles d'ordre des mots, prouve d'une manière ferme une origine commune.

Tant que les concordances sont nombreuses, complètes et bien groupées, le problème est facile à résoudre. Il n'y a presque pas besoin d'être linguiste pour apercevoir que les langues indo-européennes dont on a des monuments antérieurs à l'ère chrétienne, à savoir l'indo-iranien, le grec, le latin et l'osco-ombrien, sont des formes diverses prises par un même idiome. Pour les langues connues seulement une dizaine de siècles après, le celtique, le germanique, le slave, l'arménien, l'évidence est déjà moindre. Et si l'on n'avait de l'indo-européen que les parlers locaux actuels français, irlandais, anglais, allemands, slaves, arméniens, iraniens, indous, on aurait peine à montrer qu'ils remontent à une même langue, il serait impossible d'en faire la grammaire comparée. Tantôt rapide et tantôt lente, ne évolution de deux mille cinq cents ans a uffi à effacer la plupart des traces de la communauté ancienne. C'est dire que la détermination

de communautés remontant loin dans le passé est toujours difficile, souvent impossible. En dehors des domaines sémitique et indo-européen, il y a peu de langues pour lesquelles on ait des documents remontant au ve siècle av. J.-C. ou même au ve siècle après. Là où l'on rencontre des parentés de langues claires et indiscutables, elles paraissent résulter de communautés qui n'ont été brisées qu'à une date relativement moderne; ainsi le malgache, qui se laisse aisément reconnaître pour une langue malaise, ou, plus exactement, indonésienne, ne s'est séparé du malais qu'après le commencement de l'ère chrétienne. La grammaire comparée sert à combler les lacunes des documents dont use la linguistique historique; mais elle ne permet pas de reculer beaucoup les limites des connaissances par delà les plus anciens documents.

C'est qu'en effet les langues changent constamment. Les changements proviennent tout d'abord des deux formes de la transmission linguistique; à chaque fois que des enfants apprennent à parler, le langage qu'ils se fixent diffère de celui de leur entourage, et ces changements, petits à chaque fois, s'accumulent dans la suite des générations; d'autre part, les langues empruntent toujours à d'autres langues et ces emprunts s'accumulent aussi. D'autres changements se produisent du fait même de l'emploi qui est fait de la langue : à chaque fois qu'un élément linguistique est employé, l'usage en devient plus facile au sujet parlant, plus habituel et par suite moins expressif; des groupes de mots d'abord au nomes tendent ainsi à s'unir, des prononciati à s'abréger, et ceci entraîne des réactions. En

il arrive souvent que des individus ou des groupes sociaux changent de langue ; ce changement ne va pas sans altération de la langue adoptée. Après quelques siècles d'emploi, une langue a donc toujours changé d'une manière appréciable, même là où le changement est le plus lent.

Mais, et ceci est un troisième principe fondamental de la grammaire comparée, le changement n'a pas lieu d'une manière sporadique et irrégulière. Il se produit suivant des règles fixes qu'on arrive à formuler avec précision, si l'on envisage une même langue à deux moments successifs de son évolution, pourvu que, entre les deux moments considérés, les changements n'aient pas été trop nombreux ou trop radicaux.

Le changement atteint d'une manière indépendante et distincte chacune des trois espèces linguistiques, le phonème, le morphème, le mot.

Les phonèmes changent indépendamment du sens qu'ils expriment, et même si le changement nuit au sens exprimé. Il arrive souvent que des éléments sonores qui font partie intégrante d'une forme grammaticale disparaissent et s'altèrent de manière à rendre la forme inintelligible. Il s'ensuit des innovations grammaticales ; mais le changement phonétique a eu lieu sans souci du sens. Si l'on envisage deux moments successifs d'une langue, on constate qu'à un phonème *a* d'un premier moment répond constamment un phonème *b* du second moment. Soit par exemple, le latin d'une part, le français moderne de l'autre, ce sont deux moments successifs d'une même langue ; au *k* latin devant *a* le français répond constamment par son *ch* : à latin *canem*, *cantor*, *allum*, etc., le français répond par *chien*,

chantre, *cheval*, etc. Toute divergence appelle une explication : à latin *caveam* répond *cage :* c'est par suite d'une action phonétique qui a croisé la première ; à *capsam* correspond *caisse :* c'est un emprunt au provençal, et le mot français existe, avec un sens particulier, mais avec le *ch* normal, c'est *châsse ;* à *vincat* répond (qu'il) *vainque;* c'est le résultat d'une généralisation du *c* du participe *vaincu* et de quelques autres formes dans toute la flexion du verbe *vaincre*. En tant qu'elle n'est pas croisée par d'autres actions phonétiques, que des emprunts et des influences grammaticales n'interviennent pas, une formule de correspondances phonétiques est appliquée d'ordinaire avec constance. On nomme *loi phonétique* une formule de correspondance de ce genre.

Une loi phonétique exprime donc un rapport entre deux aspects successifs d'une même langue en un groupe social donné. Ce n'est pas une loi générale comparable à une loi physique ou chimique. Elle exprime des faits particuliers à une certaine langue en deux moments distincts et en un certain lieu. Mais elle les exprime avec une telle rigueur, que souvent les formes que le linguiste a été amené à supposer ont été fournies par des découvertes postérieures. Ainsi l'on avait reconnu depuis longtemps que la forme latine *iumentum* « bête de somme » devait reposer sur *iouksmentom* et non sur *ioukmentom* ; car latin classique *m* ne répond pas à un *km* préhistorique ; la découverte d'une inscription latine plus ancienne que toutes celles qu'on avait, la pierre noire du Forum, a fourni la forme ancienr postulée par les lois phonétiques. Les cas de (genre sont fréquents.

Une loi phonétique suppose un changement ; mais elle n'indique pas si ce changement résulte du changement de langue d'une population, d'un développement spontané ou d'un emprunt, si le procès dont elle résulte est simple ou multiple, si les transformations qu'elle suppose ont été successives ou simultanées ; un *d* allemand initial répond à un *t* indo-européen, ainsi dans allemand *donner* « tonnerre » en regard de latin *tonat* « il tonne » ; mais il n'y a pas eu simplement changement de *t* en *d* ; il y a eu toute une série de changements par où l'on a passé de *t* à *d*. S'il est correct de dire que allemand *d* répond à indo-européen *t*, ceci ne veut pas dire qu'il y ait eu un moment où un *t* indo-européen est devenu *d* en allemand. Une loi phonétique suppose donc des changements, mais elle ne les exprime pas ; et elle n'est autre chose qu'une formule exprimant la correspondance entre deux états linguistiques donnés.

De même si l'on rapproche les formes grammaticales d'une même langue à deux époques successives, on observe des correspondances régulières. Pour le futur, par exemple, le latin avait des formes diverses dont les deux principaux types sont *amabo* et *dicam* ; le français les a remplacées par un type dont la structure est la même pour tous les verbes de la langue, le type *j'aimerai, je dirai*. En morphologie comme en phonétique, les formules s'appliquent avec constance, et toute déviation appelle une explication. Ici encore, les formules n'ont pas une valeur universelle ; elles ne valent que pour une langue, un lieu et un temps donnés.

Quant au vocabulaire, chaque mot a une exis-

tence autonome ; les changements qui atteignent un mot sont donc particuliers à ce mot et se répercutent tout au plus sur quelques mots voisins pour le sens et pour la forme. Il y a des formules générales de correspondances phonétiques et morphologiques entre deux périodes d'une même langue ; il n'y a pas de formules générales en matière de vocabulaire. On peut, il est vrai, déterminer des tendances à l'emprunt ou à la formation de mots nouveaux, dérivés ou composés, dans certaines circonstances ; mais ceci ne permet jamais de prévoir ce que l'on doit attendre dans un cas donné, comme en phonétique ou en morphologie. Il arrive souvent du reste que les usages sociaux interdisent l'emploi de certains mots en des circonstances déterminées ; ceci entraîne des changements brusques dont les répercussions peuvent être lointaines. On a réalisé un grand progrès quand on a appris à tenir compte de la constance des correspondances entre phonèmes, connue sous le nom de constance des lois phonétiques et quand on a su apprécier le rôle de l'emprunt dans la constitution du vocabulaire. Mais il faut le croisement de circonstances multiples et bien distinctes pour qu'on puisse affirmer qu'un mot est la continuation d'un mot attesté antérieurement. Faute de rencontrer ces coïncidences multiples, on ne peut jamais rien prouver. On doit d'ailleurs tenir compte ici de l'histoire des choses signifiées et des variations des usages sociaux, dont personne n'a contesté l'importance, mais dont on commence seulement à tenir le compte qu faut. L'étymologie est, de toutes les parties de linguistique historique, la plus délicate, la p

incertaine, et par suite celle où s'essaient le plus volontiers les amateurs.

Ces principes étant posés, on voit que tout ensemble de concordances systématiques entre plusieurs langues oblige à une mise en ordre de ces concordances. On détermine si les concordances proviennent de ce que ces langues résultent d'évolutions diverses de l'une d'entre elles ou si toutes résultent d'évolutions d'une autre langue connue ou inconnue. Que la langue commune dont toutes les langues étudiées sont des transformations soit connue, ce qui est le cas le plus rare, ou inconnue ne change rien à la méthode ; il s'agit en tout cas de poser des règles de correspondances. Une grammaire comparée consiste en un système de correspondances. La grammaire comparée des langues indo-européennes est le système des concordances qu'on observe entre le sanskrit, l'iranien, l'arménien, le grec, le latin, le slave, etc. ; la grammaire comparée des langues romanes est le système des concordances entre l'italien, le français, l'espagnol, etc. La différence entre les deux cas consiste en ce que, pour le second groupe, au système de correspondances entre l'italien, le français, l'espagnol, etc., s'ajoute un système de correspondances avec le latin qui est l'original commun ; dans le premier cas, au contraire, l'original n'étant attesté par aucun document, cette seconde série de correspondances n'entre pas en ligne de compte.

Les correspondances une fois reconnues, il ste à déterminer quels faits réels elles recou-ent. Ici la difficulté devient grande. Entre la rme commune, attestée ou non par des docu-

ments, et la langue comparée, il y a des différences plus ou moins profondes, et les faits auxquels sont dues les différences sont de natures très diverses ; les interpolations auxquelles on est obligé se font avec d'autant plus de sûreté que les différences sont plus petites et qu'on a plus de faits intermédiaires qui permettent de déterminer les voies suivies par le changement. Qu'il s'agisse de reconnaître si deux langues sont la continuation d'une seule et même langue plus ancienne, ou si des faits analogues présentés par deux langues dont la parenté est établie remontent à l'original commun ou proviennent de développements indépendants ou d'emprunts de l'une à l'autre ou des deux à une troisième, la difficulté est toujours de déterminer si une concordance donnée est fortuite ou si elle suppose une communauté d'origine de quelque espèce que ce soit ; en linguistique comme dans toutes les sciences historiques, la question est souvent insoluble, et le savant correct est celui qui sait réserver son affirmation.

Dès lors il importe d'utiliser tous les faits positifs dont on peut disposer. Grisés par la puissance que leur donnent les procédés de la grammaire comparée, certains linguistes sont tentés de négliger une partie des indices que fournissent les anciens documents et de se borner le plus possible à comparer : des faits précis viennent alors souvent apporter à leurs théories ambitieuses et trop rapidement établies un démenti. L'historien des langues doit avoir la précision et l'érudition du philologue le plus rigoureux et le plus patient. Si, par exemple, il veut se rendre compte de la correspond-

entre le *ch* du français *chèvre* et le *k* de l'italien *capra*, de l'espagnol et du provençal *cabra*, etc., on a un point de repère précis dans la prononciation *tchièvre* qui est celle du moyen âge ; c'est donc par *tch* que le *k* qui est au point de départ de toutes les langues romanes a passé à *ch*. Le français central où *ka* passe à *tchié* d'où *ché*, est tout entouré de parlers où le *k* subsiste, ainsi tous les parlers gallo-romans du midi, les parlers normands et picards. Qui ne connaît pas ces données ne saurait se hasarder à proposer une théorie du traitement de *k* initial latin en français. L'idéal serait de connaître tous les parlers de tous les groupes de la langue étudiée. Les atlas linguistiques qui fournissent des réseaux plus ou moins serrés suivant la distance des localités enquêtées permettent ainsi de déterminer avec plus ou moins de précision des lignes d'isoglosses, c'est-à-dire de tracer les limites d'extension des diverses particularités qui distinguent les parlers d'une langue donnée. En combinant les données ainsi fournies par la géographie linguistique avec les faits historiques tirés des textes, le comparatiste peut parvenir à réduire le nombre des interpolations nécessaires pour restituer l'histoire des évolutions linguistiques. L'établissement d'atlas linguistiques a déjà apporté à la linguistique historique un renouvellement sur plusieurs points.

Mais pour faire les interpolations avec sûreté, pour utiliser même d'une manière correcte les faits particuliers que fournissent les documents anciens, les témoignages historiques et la comparaison des divers parlers, il faut disposer d'une doctrine générale. Il faut avoir déterminé com-

ment *peuvent* évoluer les faits linguistiques. Cette détermination n'est du reste possible que si l'on dispose de règles de correspondances nombreuses, car le linguiste ne saurait expérimenter. Il ne dépend pas de lui de faire varier les langues, et il en est réduit à observer les changements qui ont eu lieu. Quand on possède une masse d'observations distinctes et indépendantes, sur des domaines différents et à diverses dates, il suffit d'envisager les conditions générales dans lesquelles les langues utilisent un phonème ou un morphème donné pour poser des règles universellement valables. Ces règles n'expriment que des possibilités; elles signifient que, si un changement a lieu, il se produira suivant certaines formes et non autrement. Un *k* est ainsi sujet à se mouiller, c'est-à-dire à être accompagné d'une sorte de petit *i* consonne (celui qu'on prononce en français dans *cinquième*) ; ce *k* est sujet à passer soit à *tch*, soit à *ts*, et *tch* et *ts* à *ch* et *s*: mais on ne passe pas inversement de *ch* ou *s* à *k*, ou du moins, cela n'arrive pas normalement. On peut ainsi poser une linguistique historique générale, qui est une théorie de *possibilités*.

On s'aperçoit alors que les faits linguistiques concrets ne sont pas des choses simples. Ils résultent d'un concours de circonstances souvent multiples. En voici en très bref un exemple, où il n'est tenu compte que des faits proprement linguistiques: le français populaire s'est créé une particule interrogative *ti ;* on peut dire par exemple: *tu viens-ti*? L'origine de cette particule est connue ; il s'agit d'une généralisation de la finale de cas tels que *vient-il?* pour que *ti* ait

être isolé, il a fallu d'abord que le *t* final de la 3e personne de tous les verbes ait cessé de se prononcer, ainsi que *l* de *il* en fin de mot — changement phonétique, — il a fallu d'autre part que le *i(l)* final de *vient-il?* ait cessé d'être compris comme pronom parce que le pronom ancien devenu simple signe de la personne est toujours avant le verbe ; *i(l)* dans *i(l) vient* a perdu toute autonomie et n'est plus qu'une partie de la forme verbale — changement morphologique ; dès lors *ti* de *vient-i(l)?* ou plutôt de *i(l) vient-i(l)?* n'avait plus de valeur personnelle. L'enfant qui l'entendait y voyait simplement la marque de l'interrogation ; si *i(l) vient-i(l)?* est l'interrogation de la 3e personne, tu *vien(s) ti?* est l'interrogation de la seconde, en vertu du principe de substitution.

Quand on veut déterminer les causes des changements linguistiques autres que les emprunts, on doit faire intervenir les possibilités générales dont il vient d'être question, les conditions sociales qui rendent le langage stable ou instable, lesquelles résultent en partie des événements historiques, les changements de langue d'un nombre plus ou moins grand de sujets parlants, enfin le détail de la structure de la langue qui fait que, par suite d'un concours de circonstances fortuit, telle possibilité générale peut se réaliser. Ce n'est qu'en combinant ces divers ordres de conditions qu'on arrive à faire des hypothèses plausibles sur les causes des changements observés. Jusqu'à présent, on n'a pas trouvé de moyen précis qui permette de vérifier ces hypothèses. Les causes des changements demeurent donc ce qu'il y a de plus indéterminé dans le développement des langues, parce qu'elles sont trop

variées, d'espèces trop diverses, et impossibles à mesurer ou simplement à apprécier. On s'est souvent essayé à cette recherche, sans parvenir à en trouver la méthode. Le perfectionnement de la linguistique générale permettra peut-être de combler en quelque mesure cette lacune.

A. MEILLET,
Professeur au Collège de France.

STATISTIQUE

En introduisant dans ce recueil un chapitre consacré à la statistique, nous n'entendons nullement résoudre par prétérition une question controversée : la statistique est-elle une science ? N'est-elle pas simplement un ensemble d'observations numériques dont chacun de nous emporte une vision particulière, que l'on apprécie, — plutôt suivant ses tendances que d'après des principes universels, — par le moyen d'une sorte d'habileté, instinctive ou acquise, à discerner des traits dominants, des modes permanents ? En un mot la statistique permet-elle autre chose que des conjectures ?

Peut-être, en effet, les résultats des recherches statistiques peuvent-ils souvent s'interpréter de plusieurs manières et donner lieu, par conséquent, à des conjectures plus ou moins bien fondées. Pourtant, le champ de ces conjectures n'est point à l'abandon. Peu à peu, les repères se multiplient ; le travailleur mis à même de reconnaître le terrain et de discerner la valeur des matériaux se fixe, après réflexion, au point que tout observateur également impartial et éclairé eût choisi comme emplacement de la construction.

Pour apprécier les caractères et la valeur de la statistique, et pour se rendre compte de la place qui lui convient dans l'ensemble des connaissances humaines, le mieux est sans doute de commencer par passer rapidement en revue les recherches qui ont été classées jusqu'à ce jour dans son ressort, en dégageant aussi bien que possible les concepts qui ont dirigé ces classements.

I. — Développement des recherches statistiques

A considérer les résultats accumulés, par exemple, dans ces recueils d'institution récente que sont les *Annuaires statistiques*, on est en droit d'attribuer à la statistique une origine aussi ancienne que celle des sociétés humaines organisées. Ces sociétés ne se sont en effet développées qu'en tirant profit de l'expérience des prédécesseurs et en conservant les résultats de cette expérience, soit par la tradition, soit par les monuments, soit par l'écriture. Parmi ces résultats beaucoup ont la forme numérique, ou peuvent se ramener à cette forme.

C'est ainsi que les monuments et les livres des peuples d'antique civilisation, signalent des dénombrements, l'inscription des dates de naissance ou de décès, des notations de prix, de salaires ou d'autres éléments de la richesse publique.

Les préoccupations auxquelles réponda ces opérations étaient d'ailleurs d'ordre pu ment administratif. Quand les Hébreux, ou p tard les Grecs et les Romains, procédaient à

dénombrement, c'était en vue du service militaire ou du récolement des impôts. Les salaires que fait connaître, par exemple, la Constitution d'Athènes s'appliquent à des fonctions publiques; les prix que signalent les édits de Dioclétien, n'indiquent point des constatations, mais des prescriptions.

D'ailleurs, les documents ne comportent guère de coordination des données numériques que l'on y découvre. Cette coordination fait également défaut dans les récits et descriptions des voyageurs, Hérodote, etc.

Quelque précieux que soient, pour l'histoire de la civilisation, les détails que nous donnent sur la vie antique les monuments et les écrits, et malgré les réflexions de Socrate, d'Aristote ou de Cicéron, ces détails ne laissent guère apparaître le souci, non seulement d'une étude désintéressée du fonctionnement des sociétés, mais même d'observations utiles à l'art politique.

Pas plus que certaines régularités astronomiques ou physiques, la constance relative de certains phénomènes de la vie humaine n'a pourtant échappé aux anciens. Ils ont fixé approximativement la durée moyenne d'une génération, l'espérance de vie à la naissance et à certains âges (exemple dans les tables d'Ulpian), mais sans approfondir les modes de ces régularités et sans en dégager des relations générales.

Les notations des anciens n'avaient donc point un but d'étude systématique, c'étaient surtout des actes administratifs nécessaires au bon fonctionnement de l'État.

Il en a point été autrement sans doute au moyen âge. Les bréviaires ecclésiastiques, les

registres et les enquêtes de Charlemagne ou de Guillaume le Conquérant, les recensements exécutés par les Arabes, par les rois de France, par les républiques italiennes, avaient pour objet essentiel de faire connaître à l'autorité publique les capacités militaires, les revenus et ce que nous appelons aujourd'hui « la matière imposable ». Aussi les dénombrements ne portaient-ils que sur les familles assujetties à payer l'impôt ou sur les individus aptes à porter les armes : à Rome, le Cens n'atteignait que les citoyens ; en France les dénombrements laissaient de côté les privilégiés et les indigents. Quant aux chroniqueurs et voyageurs, les détails numériques assez vagues qu'ils rapportent ne peuvent être regardés encore comme des descriptions statistiques.

C'est pourtant dans les relations descriptives des agents de l'Etat, des voyageurs et des commerçants dont le nombre s'accrut après la découverte de nouveaux continents, — et aussi dans le mouvement d'idées qui a suivi l'invention de l'imprimerie, — que l'on doit reconnaître l'origine d'une nouvelle manière de considérer les faits dont s'enrichissaient la chronique et la géographie.

Des Etats très commerçants comme la Hollande et les Républiques italiennes avaient intérêt à connaître les ressources et les besoins des autres contrées. Les publications devinrent nombreuses qui décrivaient l'organisation des principaux États, introduisant à ce propos dans la langue et dans les écrits les mots : status, statist d'où devait sortir le mot : *statistique*.

La Renaissance, et le goût pour l'observatio dont elle a marqué l'éveil, accentua cette tendanc

descriptive; de son foyer est sorti ce que nous appellerions aujourd'hui la statistique sociale. Celle-ci a pu s'élaborer d'autant plus aisément que de grands États se sont constitués, fusionnant les langues, facilitant les communications, fortifiant le pouvoir politique. Il est à remarquer que, dans les périodes de décadence, on n'est point enclin aux comparaisons ; l'orgueil humain se plaît mieux à mettre en relief la grandeur, la richesse de la Société que sa faiblesse ou ses misères : Philippe II, Louis XIV, les deux Frédéric, Napoléon Ier ont ordonné des statistiques, — dont ils ont quelquefois abusé. Aux préoccupations administratives s'ajoute alors le désir d'enregistrer des preuves de progrès.

En France, les rapports des intendants des provinces ne contiennent plus seulement des états de collectes d'impôts ou des évaluations utiles aux levées militaires; ce sont des mémoires où se trouve décrite la vie des populations, où se groupent de nombreux résultats numériques dont s'enrichiront plus tard les annuaires départementaux.

En Allemagne, les nouvelles connaissances deviennent, dès le XVIIe siècle, matière d'enseignement. Conring, puis Schmeitzell, Achenwall et leurs successeurs groupent dans le domaine de la statistique sociale les « caractères remarquables de l'État », — caractères généralement décrits plutôt qu'exprimés par des nombres —, et des vues générales résultant de la comparaison des constitutions ou des intérêts différents des peuples.

Une troisième conception du rôle de la statistique doit être rattachée surtout au progrès des

idées scientifiques et à l'utilisation des anciennes observations sur la durée de la vie humaine ou sur la fixité de certains caractères moyens.

Lorsqu'à la suite de la découverte de nouveaux continents, le développement de la navigation multiplia les risques de naufrage, on reconnut dans ces risques une certaine régularité; de là, l'idée des assurances maritimes. L'assurance sur la vie s'organisa lorsque les observations de Graunt, de de Witt et de Halley fixèrent des moyennes relativement stables de la mortalité aux divers âges de la vie.

Par ailleurs, le sentiment que certains faits sociaux comportent une régularité analogue à celle des phénomènes physiques fit naître le goût des conjectures numériques; on crut possible de fonder des prévisions sur des observations isolées et hâtivement généralisées : deux siècles avant Malthus, Walter Raleigh et Botero supputaient les facultés d'accroissement, tant de la population que des subsistances. Et une conception du rôle des nombres dans l'étude des sociétés humaines — qui fait songer à la formule pythagoricienne — se forma sous le nom suggestif d'arithmancie que W. Petty transforma en arithmétique politique.

Malheureusement, l'analogie avec les prévisions physiques méconnaissait le caractère essentiel de ces dernières, en sorte que l'arithmétique politique aboutit souvent à des pronostics simplement fantaisistes et tomba dans le discrédit.

Cependant, certaines prévisions étaient légitimes, puisque les assurances finissaient par prospérer. Et d'ailleurs les arithméticiens politiques n'ont point été inutiles; ils ont pré-

sinon apprécié avec justesse, de nombreuses régularités sociales en dehors des phénomènes de la vie; ils ont eu foi dans l'enchaînement des faits dont s'occupe la statistique sociale et ils ont préparé les esprits à relier ces faits, à les comparer, à les expliquer.

Le mouvement de la philosophie scientifique, appuyé sur la découverte de nouvelles lois universelles, engageait à substituer aux relations empiriques des choses des rapports plus intimes fondés sur des propriétés. Il fallait craindre cependant, en des matières où les observations étaient difficiles et rares, qu'on ne retombât dans les procédés scholastiques. Ce fut une des faiblesses de l'arithmétique politique, ou d'écrivains tels que Montesquieu, de tirer parfois de constatations vagues et fragmentaires des généralisations excessives.

L'analyse des faits complexes, dont les sociétés humaines sont le foyer, peut difficilement être fondée sur des propriétés admises en quelque sorte *a priori*. Elle doit avant tout procéder de l'observation patiente et prolongée. Les inductions sont trop fragiles qui ne peuvent s'appuyer sur des suites ordonnées de rapports précis.

En consacrant une partie de sa vie à réunir des données numériques sur la population des États et des villes, et en en dégageant des rapports uniformes, Süssmilch a donné une orientation plus ferme aux recherches des arithméticiens politiques. Ses observations l'ont conduit à une importante généralisation, déjà entrevue par Vico par d'autres : l'ordre observé dans les phénomènes naturels n'est point absent des phénomènes

sociaux; ceux-ci ne sont dans leur ensemble ni arbitraires, ni capricieux. Parallèlement aux physiocrates, il a ainsi contribué à montrer la possibilité d'une science des sociétés humaines. De plus, en s'efforçant de limiter le champ des conjectures, par la comparaison de collections de faits similaires, il a tracé à la statistique la voie dans laquelle celle-ci a progressé.

Cependant cette conception nouvelle du rôle de la statistique exigeait un moyen d'apprécier la valeur relative des observations et des combinaisons d'observations. La théorie des jeux de hasard et dès probabilités vint heureusement prêter à la statistique un précieux appui en montrant, d'une manière précise, qu'en dehors de la valeur intrinsèque de chaque observation, le nombre des observations de même ordre doit influer sur la légitimité des généralisations.

Par exemple, les derniers dénombrements du XVIIIe siècle ont eu pour base en France le nombre des naissances. Après avoir compté, dans quelques paroisses, à la fois le nombre des habitants et le nombre des naissances annuelles, on a obtenu un nombre moyen d'habitants correspondant à une naissance, coefficient qu'il a suffi de multiplier ensuite par le nombre annuel des naissances dans le royaume pour obtenir une évaluation du nombre total des habitants. Jusque-là, le calcul ne se distingue pas des opérations familières à l'arithmétique politique.

Laplace lui a donné la précision nécessaire en faisant apparaître sous son véritable jour le caractère hypothétique du calcul, et en fixant s limites à l'estimation ; il a montré en somme e le nombre des habitants, résultat du calcul c

devait point être exprimé, en toute rigueur, par un nombre déterminé, mais qu'il devait l'être plutôt par deux nombres entre lesquels le chiffre réel se trouvait compris avec une certaine probabilité. C'était une première application de la critique scientifique au traitement des observations. Quelque conventionnelle que soit encore l'estimation ainsi complétée, sa valeur s'est fortifiée, bien qu'elle semble en apparence diminuée ; elle porte en elle un pouvoir de généralisation plus légitime.

Pourvue d'une méthode qui lui était propre, la statistique a vu s'étendre son domaine sous la triple influence du progrès économique, du mouvement des idées et de l'extension des relevés administratifs. Le développement de l'industrie et du commerce, la naissance de l'économie politique, ont fait apparaître la nécessité de notions numériques précises sur les mouvements des échanges. L'évolution des idées touchant les problèmes de morale sociale, les théories de Hume, de Beccaria, etc., les aperçus de Buffon, de Laplace, de Condorcet firent comprendre l'utilité d'observer les manifestations morales de la vie collective aussi bien que les manifestations matérielles. Enfin, l'introduction progressive du régime représentatif dans le gouvernement des sociétés, amena les pouvoirs publics à étendre leurs propres recherches et à en publier les résultats, où naturellement abondent les données numériques.

Des matériaux statistiques de plus en plus i portants se trouvèrent ainsi à la disposition d s travailleurs : l'étude numérique des faits s iaux, — suivant l'expression du maître actuel

de la statistique française — a pris une rapide extension dans les grandes divisions qu'elle comprend encore aujourd'hui : statistique des personnes, considérées sous le rapport soit des attributs physiques, soit de certains caractères moraux, soit de leurs rapports juridiques ou sociaux, et statistique des choses utiles à ces personnes.

Au milieu du siècle dernier, Quételet put grouper une masse considérable de matériaux de cet ordre dans une vaste synthèse, et étendre les conceptions formulées par Süssmilch, près d'un siècle auparavant, à toutes les branches de la statistique sociale. Il contribua ainsi puissamment à donner à la science sociale, dont Comte venait de marquer la place dans l'échelle des connaissances, l'ossature de rapports quantitatifs, dont elle pouvait difficilement se passer.

Avec Quételet, la conception de la statistique comme science de la vie humaine et des collectivités humaines a pris une forme très précise et a atteint une grande hauteur — dépassant même parfois le raisonnable. Les prévisions qu'autorise la statistique ne sont plus le résultat de généralisations empiriques comme les calculs de l'arithmétique politique, ce sont des nécessités résultant de l'ordre des choses. Les faits sociaux se déroulent conformément à des lois naturelles offrant beaucoup d'analogie avec les lois physiques. Sans doute, les prévisions ne concernent point ici les cas individuels, ce qui fait la part de la liberté; elles s'appliquent aux résultats moyens, par un mécanisme analogue à celui qui régit les événements fortuits.

Une telle conception, qui s'est formée progr

sivement dans le cours d'un siècle, répondait au besoin d'unité qu'éprouvent tant d'esprits ; elle faisait rentrer les faits sociaux dans le Cosmos dont l'esprit sonde le mystère.

Cependant, même à l'époque de Quételet, le domaine de la statistique, tel que le comprenaient les contemporains et beaucoup des successeurs d'Achenwall, s'était, à certains égards, amoindri.

Les matières qui composaient aux siècles précédents le « microscopium statisticum » se sont groupées successivement sur des territoires distincts qu'explorent la géographie, l'ethnographie, l'anthropologie, l'économique, la démographie, la sociologie, etc.

Par contre, Quételet lui-même a fait rentrer dans le cadre des recherches statistiques, après Laplace, la météorologie et aussi la biologie générale.

Il en résulte que la statistique ne peut plus être identifiée avec la science sociale, même limitée aux rapports numériques. Son domaine s'est restreint, vu sous un certain angle, tandis qu'il s'étendait, vu d'un autre côté. De là une conception nouvelle, formulée d'abord par Cournot, suivant laquelle la statistique apparaît plutôt comme une discipline utile, et parfois nécessaire, aux autres branches de la connaissance, que comme un sujet d'études ayant un objet déterminé, une fin qui lui soit propre. On y voit une méthode applicable à beaucoup de sciences ; malgré le sentiment que Cournot lui-même a exprimé, sans trop le justifier, on ne la considère point en soi comme une science.

Cette conception s'est développée progressivement, sous l'influence des progrès de la critique, dans l'enseignement et chez les théoriciens de la statistique. De nos jours, on la trouve nettement formulée et exposée par le seul auteur que nous citerons, attendu qu'il est mort — beaucoup trop tôt malheureusement — par Aug. Bosco.

Doit-on la considérer comme définitive ? C'est ce dont on se rendra compte en examinant de plus près les caractères de l'investigation statistique. Pour le moment, bornons-nous à quelques aperçus généraux.

On a dit justement que le progrès scientifique a marché de pair avec la substitution progressive des notions de quantité aux notions de qualité. Sans aller jusqu'à la formule : « il n'y a de science que de ce qui se compte et se mesure », on peut constater que le développement de beaucoup de sciences a suivi la création ou le perfectionnement des instruments de mesure capables de fournir immédiatement des déterminations objectives des caractères étudiés.

Il n'est donc point surprenant que la statistique ait d'abord été identifiée avec l'étude numérique des sociétés humaines. Quel mètre eut permis par exemple de comparer les populations de deux pays ? Le seul moyen est de compter les habitants, c'est-à-dire les éléments dont se composent les collectivités comparées, tandis que pour comparer d'une manière analogue, deux morceaux de fonte, il suffit de les peser.

Plus généralement, on peut dire que la st tique est l'instrument des déterminations quantité quand les objets sont considérés er

que collectivités hétérogènes et non comme des unités homogènes. Ici le mot homogène est entendu dans un sens étroit : l'identité d'origine entraînant l'identité des parties.

Par exemple, la température d'un volume d'eau, dont toutes les parties sont également chaudes, se mesure au thermomètre : c'est la statistique des indications thermométriques qui compare les températures de deux régions. Le biologiste définit une espèce par les caractères communs de tous les individus de l'espèce; il ne peut étudier sous forme quantitative les résultats variables sans recourir à la statistique. Le physicien, en quête d'une explication mécanique des faits calorifiques, ou d'une expression synthétique des mouvements browniens, applique aussi la méthode statistique.

Comme l'esprit ne saisit point aisément un ensemble complexe, ou variable, il ne peut guère exercer ses facultés généralisatrices qu'en ramenant les complexes à des notions plus simples, les variables à quelque chose de constant.

C'est à quoi tend la méthode de la statistique. Elle substitue à l'ensemble complexe un terme moyen, aux résultats variables des éléments qui demeurent, et complète l'étude des faits par l'analyse de leur distribution ou de leurs rapports numériques réciproques.

On retrouve d'ailleurs, dans l'application de cette méthode, les étapes successives de toute science d'observation, les principes fondamen- [illegible] de toute recherche scientifique. Aussi, [illegible]ons-nous pas besoin d'insister sur les traits [illegible]nuns à l'étude statistique des faits et aux [illegible]s formes de l'observation naturelle. Il suf-

fira de signaler les caractères particuliers de la méthode statistique, la forme sous laquelle interviennent les principes logiques, et l'appui que lui prête le principe de compensation sur quoi se fonde la règle de la moyenne.

II. — Caractères de la méthode statistique

On distingue communément trois phases principales dans l'étude statistique des faits : l'observation, la mise en œuvre des résultats de l'observation, l'interprétation des résultats.

Observation. — L'observation peut être envisagée sous deux formes, suivant qu'elle est déjà réalisée, et par conséquent soustraite à toute règle actuellement assignable, ou suivant qu'elle est en voie de réalisation.

Dans le premier cas, l'observation statistique porte sur des documents ; elle n'atteint le réel qu'à travers l'acte et la pensée de l'auteur du document. De là la nécessité d'une critique méthodique des sources. Dans le second cas, on peut admettre que l'observateur atteint directement la réalité ; s'il emploie des agents intermédiaires, il lui est loisible de leur fixer des règles.

Ces règles sont de même ordre que celles dont la critique documentaire doit s'inspirer. Elles sont dominées d'abord, comme toute recherche scientifique, par les trois principes d'impartialité, de sincérité, de compétance, indépendamment des prescriptions techniques appropriées à chaque classe d'observations.

Dans la statistique proprement dite où observations sont généralement dirigées d'ap

un plan préconçu, ces trois principes sont susceptibles d'accommodements qui facilitent la pratique des opérations.

La nécessité de la compétence, pour l'auteur de l'observation, se simplifie quand le questionnaire, ou procès-verbal de l'observation, peut être rédigé sous une forme élémentaire : par exemple, si chaque question ne comporte que deux alternatives entre lesquelles le premier venu peut aisément décider. On parvient ainsi à utiliser un personnel peu exercé ou non exercé ; de même que, dans les laboratoires, un garçon attentif sert parfois de préparateur. Dans ces conditions, de plus, les erreurs donnent lieu à des compensations dont on peut apprécier l'efficacité.

La sincérité dans toute étude scientifique est, on le sait, d'un prix inestimable. Une observation apparemment de faible valeur peut acquérir un grand prix si elle est sincèrement rapportée, c'est-à-dire traduite de façon que la mise en œuvre la saisisse sous sa forme originale. Elle peut être funeste, plus nuisible qu'utile, si, par exemple, ceux qui en feront usage peuvent supposer le fait directement observé tandis qu'il résulte d'une déclaration, d'un témoignage aléatoire.

Aussi le statisticien qui prépare des matériaux dont d'autres tireront profit, a-t-il pour devoir décrire soigneusement les conditions de l'enquête, de joindre aux résultats les formules qui t permis de les recueillir. Souvent, malheureusement, la paresse ou la négligence, difficilement

avouables, des agents d'information nuit à la sincérité des relevés.

Enfin, de même qu'un instrument d'observation ne doit pas comporter d'erreur systématique — s'il en comporte, il faut la corriger — de même l'observateur ne doit manifester aucune tendance personnelle ; son impartialité doit être absolue. Lorsqu'on opère sur d'anciens documents, il est bien difficile d'être assuré de cette impartialité, et il est téméraire d'essayer de tenir compte des tendances supposées de l'observateur ou du narrateur.

Dans la préparation des statistiques relatives aux sociétés humaines, on peut éviter les effets du défaut d'impartialité inhérent à la nature humaine par divers moyens. Sans entrer dans le détail des règles techniques, donnons quelques exemples de ces moyens.

D'abord, en principe, toute statistique devrait être préparée lorsque les préoccupations politiques, fiscales ou autres sont dirigées d'un autre côté. Malheureusement les ressources et les efforts sont trop souvent dirigés de préférence vers les sujets d'*actualité*, au détriment du caractère scientifique des enquêtes. La science ne peut toujours s'isoler des contingences.

En second lieu, chaque enquête peut être décomposée en fragments confiés à des agents différents auxquels l'objet des recherches échappe, au moins dans son intégralité. La multiplicité des agents permet parfois d'escompter la compensation d[illegible] tendances contraires, supposées d'égale vale

Toute science a besoin d'un personnel éduc puisant dans son éducation même un sentim

élevé de probité professionnelle ; de même l'exécution des statistiques devrait être confiée à des agents spéciaux, avertis des choses qu'ils observent, mais débarrassés de tout souci étranger à l'observation impartiale des faits.

Nous signalerons encore la forme particulière que revêt en statistique le principe d'identité. Puisque la statistique considère les collectivités du point de vue de l'hétéréogénéité, elle ne peut découvrir d'uniformités instructives sans décrire soigneusement et délimiter aussi exactement que possible les faits unitaires à observer. Elle doit s'efforcer de substituer aux désignations et descriptions qualitatives, des précisions numériques ou des alternatives contradictoires. Par exemple, le dénombrement des habitants d'un pays ne s'effectuera pas en enfants, jeunes gens, vieillards, mais par groupes d'âge compris entre des limites déterminées. On évitera de même de faire porter les relevés sur des catégories mal définies comme celles des patrons, des employés, des ouvriers ; on classera les personnes actives d'après quelque critère extérieur nettement saisissable, tel que la distinction entre celui qui travaille sous les ordres d'autrui et celui qui travaille librement.

Sans doute, si la sincérité de l'observation est parfaite, les données statistiques imparfaitement recueillies ne sont pas sans valeur. Ainsi, un questionnaire adressé aux habitants pour de-
nder à chacun d'eux : êtes-vous patron ou
ıployé, fait connaître le nombre de ceux qui se
ısidèrent comme patrons et le nombre de ceux
i se considèrent comme employés. Mais les

résultats sont alors affectés d'un élément psychologique, le plus souvent étranger aux recherches. La statistique, visant des résultats objectifs, doit éliminer le plus possible les éléments psychologiques inexprimables en nombres.

Aucune comparaison de données statistiques n'est légitime si l'on ne sait à quel degré les choses comparées diffèrent de l'uniformité.

La quasi uniformité de l'unité statistique est aussi nécessaire que l'uniformité du langage avec, par surcroît, cette particularité, que l'expression numérique uniforme et rigide ne peut être amendée, comme un terme d'un discours, sans troubler la recherche et sans perdre une partie de son utilité.

La méthode d'observation qu'emploie la statistique repose en somme sur des principes conformes à ceux qui gouvernent les sciences. Aucune n'est à l'abri des erreurs : en statistique, les conditions de l'erreur se présentent sous une forme un peu spéciale sur laquelle il n'est point inutile d'insister.

Dans toute observation à l'aide d'instruments à graduation continue, on doit compter sur deux sortes d'erreurs : 1° des erreurs d'inattention ; 2° des erreurs d'appréciation.

Lorsque l'on procède à des mesures physiques, le nombre des mesures du même objet n'est jamais grand. L'observateur peut d'ordinaire éliminer les erreurs d'inattention en supprimant les observations qu'il sait ou qu'il soupçon mal faites. Quant aux erreurs d'appréciatio l'observateur est à même de leur assigner c limites parce qu'il a l'habitude de prendre c

mesures semblables ; il sait entre quelles limites varient ses observations d'une même grandeur, comment ces limites se disposent par rapport à celles d'autres observateurs, quelle est en un mot son *équation personnelle*. La répétition des mêmes mesures permet de resserrer ces limites en vertu du principe de compensation des erreurs.

En statistique où l'on fait usage de procédés d'observation très divers, très inégaux, le classement et l'estimation des erreurs sont en général difficiles ou impossibles.

S'il s'agit d'une statistique météorologique ou anthropométrique, et si les mesures sont prises au moyen d'instruments, on peut noter l'erreur de chaque mesure et, appliquant la loi de compensation, réduire l'erreur en multipliant les mesures du même objet.

Toutefois lorsqu'on a besoin de mesures très nombreuses et qu'on ne dispose pas d'un personnel suffisamment exercé, comme en météorologie pratique, les observations douteuses ne sont pas signalées par ceux mêmes qui les ont faites et l'on se trouve dans le cas général des relevés statistiques effectués sans le concours d'instruments, ou à l'aide d'un instrument à échelle discontinue : le dénombrement.

Un tel instrument ne permet pas d'erreur d'appréciation quand le fait à reconnaître est très simple : par exemple l'existence ou la non-existence d'un objet, le nombre des assistants ıs une réunion, le nombre des pétales d'une ır, l'argent en caisse. Des comptages soigneux rmettront de classer les réunions ayant divers ets suivant le nombre des assistants, les fleurs

d'une même espèce suivant le nombre des pétales, les rentrées de fonds de différentes années suivant leur importance, et, de ces classements, peuvent découler d'importants enseignements, sans qu'on ait à tenir compte de la moindre erreur, si les précautions techniques sont suivies.

Mais la méconnaissance des règles techniques est inévitable dans un très grand nombre de cas, en sorte que souvent les statistiques comportent des erreurs d'inattention, des omissions, des lacunes, des doubles emplois. Ce sera le cas du dénombrement des habitants d'un pays et de toutes les opérations statistiques de grande étendue pour lesquelles on ne dispose pas de moyens d'action, ou de contrôle, suffisants.

Dans les cas de ce genre, l'erreur peut être dépistée et évaluée en masse par des moyens indirects, par exemple par des épreuves fondées sur le principe de compensation. Sa grandeur dépend d'ailleurs de la façon dont les opérations sont organisées.

Les erreurs d'appréciation s'introduisent dans les relevés les plus attentifs, mais sous une forme particulière, quand le dénombrement a pour base l'appréciation d'une qualité non mesurable ou l'estimation d'une grandeur sans instrument. Dans les deux cas, les organes d'observation de l'homme sont mis en œuvre d'une façon complexe.

Quand on dispose d'un intrument, le plus souvent, un seul organe est en jeu, son rôle borne à décider d'une coïncidence ou d'une n coïncidence : l'œil décidera du moment où

croisée de fils coïncide avec une division particulière d'une règle, avec d'autant plus de précision que l'on pourra amplifier les divisions. L'instrument permet de substituer à une appréciation complexe, celle d'une grandeur inconnue, le fait plus simple de la coïncidence de deux sensations simultanées.

A moins d'une infirmité de l'observateur ou d'un défaut d'attention, tout autre observateur obtiendrait le même résultat, dans les limites de l'erreur personnelle.

L'observation est déjà moins sûre si la simultanéité des deux sensations n'est pas parfaite ; s'il s'agit d'apprécier, par exemple, par l'oreille la hauteur relative de deux sons ou par l'œil la valeur relative de deux teintes.

Mais, lorsque l'on détermine par estimation le salaire ordinaire d'un groupe d'ouvriers, le rendement des terres d'une commune, on n'a d'autre guide qu'un jugement interprétatif d'observations fragmentaires, plus ou moins conscientes, qui sont tout au plus en marge du terrain scientifique. Quant aux dénombrements par masses de choses que l'on n'a point comptées, même partiellement, ils sont entièrement hors de ce terrain. D'ailleurs, ces opérations peuvent néanmoins être très utiles quand il est impossible d'en exécuter de meilleures.

La valeur d'un ensemble d'appréciations plus ou moins subjectives peut aussi s'accroître par l'application du principe de compensation auquel ıs avons déjà fait souvent allusion et moyen- ıt une critique sévère des données.

.e principe de compensation paraît en effet

gouverner même les appréciations qui mettent en jeu une psychologie compliquée ; c'est un fait dont nous ne pouvons guère prouver la réalité que par une longue expérience, mais les vérifications se multiplient.

Or le moyen le plus sûr de tirer de ce principe ce qu'il peut donner, c'est de subdiviser le plus possible le champ d'observation. Si l'appréciation totale est décomposée en une foule d'observations partielles portant sur des masses divisionnaires, les erreurs des appréciations partielles sont susceptibles de compensations. Cette circonstance s'ajoute aux considérations techniques qui donnent tant de prix aux relevés individuels. La statistique devrait observer individu par individu et le moins possible par masse. Dans ce système, sans doute, la compétence de chaque observateur conserve quelque importance; toutefois si l'appréciation totale n'a pas perdu absolument tout caractère subjectif, il s'y incorpore la plus forte part possible d'objectivité.

Le principe de compensation intervient encore très efficacement quand l'appréciation de la collectivité des faits résulte d'une observation partielle ou limitée. Cette substitution est souvent commandée par l'insuffisance des moyens d'action; elle permet d'ailleurs, dans bien des cas, une meilleure utilisation des ressources.

Dans un pays neuf, où il n'est pas possible de compter les habitants d'une localité, on compte les maisons et l'on évalue le nombre moyen des habitants par maison. A cet effet, la seule méthode digne de ce nom est de procéder par épreuves évitant toute tendance particulière, en prenant *au hasard* les maisons qui serviront d'épreuv

c'est-à-dire en s'efforçant de provoquer une compensation des écarts à partir du nombre moyen à évaluer.

Il peut arriver que les éléments subjectifs aient une valeur reconnue et contribuent alors à donner à l'observation un poids dont l'interprétation doit tenir compte. L'appréciation de ce poids, purement qualitative, est hors du domaine de la statistique ; elle n'a rien d'objectif. La combinaison d'un certain nombre d'appréciations qualitatives est d'ailleurs difficile et non sans danger. Nous signalerons plus loin une méthode propre à faciliter l'interprétation d'une semblable combinaison.

D'une manière générale, quel que soit le procédé dont elle fait usage, la statistique vise à embrasser la totalité des faits dont elle s'occupe en éliminant les influences particulières et personnelles. Par cela même, elle envisage les faits plutôt en surface qu'en profondeur. Mais elle éclaire le terrain et signale les points où doivent porter les sondages, pour extraire des échantillons dont l'examen sera particulièrement attentif.

La monographie complète alors l'étude des faits aux points où son intervention est le plus efficace. L'alliance de la statistique et de la monographie peut ainsi assurer à la science sociale une solide construction.

Il est bon de le répéter, pour qu'on ne se méprenne point sur la portée de l'observation
istique ; celle-ci n'impose pas de jugement ;
s'efforce de mettre les faits en juste lumière ;
engage à user du principe de compensation

quand il n'y a pas d'autre raison de se déterminer ; elle n'interdit donc nullement d'ajouter des raisons à ses enseignements, et même quelque chose de plus : le sens profond et adroit des rapports cachés. Dans une réunion de vingt personnes que je dois quitter pour aller prendre un train, je consulte les 20 montres et ferai sagement de m'en rapporter à la statistique des 20 indications. Si pourtant quelqu'un en qui j'ai confiance me dit qu'il a réglé sa montre sur la gare, je ferai peut-être mieux de le croire. Peut-être ferai-je encore mieux d'adopter de préférence l'heure que m'indique quelque autre assistant dont je connais l'exactitude.

La mise en œuvre et l'interprétation des relevés statistiques ne revêt point toujours une forme aussi simple ; elles exigent une critique aussi avisée.

Critique et mise en œuvre des observations. — Nous ne nous étendrons pas longuement sur la partie critique des opérations statistiques. Quand les observations ont été recueillies en dehors de toute action de celui qui les met en œuvre, quand ce sont des documents de caractère plutôt historique, les règles de la critique historique ou documentaire s'appliquent avec d'autant plus de force que les renseignements extraits auront la forme rigide de résultats numériques. Il importe avant tout de se rendre compte si les conditions d'établissement des documents satisfont aux trois principes dont nous avons parlé plus haut et s'ils n'y satisfont pas convenablement, d'apprécier dans quelle mesure ils peuvent être utilisés.

Les mêmes règles conviennent naturellement

pour les résultats d'observations conduites suivant les instructions de celui qui mettra en œuvre ces résultats. De plus, il appartient à celui-ci d'organiser le contrôle des opérations de détail, par exemple au moyen d'épreuves rentrant dans les procédés d'observation partielle signalés plus haut.

Des rapports sur la conduite des opérations permettent de juger leur valeur et d'annuler, pour les faire reprendre, celles qui seraient défectueuses. Enfin, la comparaison des résultats du dépouillement révèle souvent les imperfections des relevés ou de la mise en œuvre, soit par leur régularité excessive, soit par leur irrégularité, soit par leur désaccord avec d'autres résultats.

Par exemple, si plusieurs années de suite un agent local chargé de fournir pour sa région, soit un dénombrement, soit un ensemble de résultats d'un certain ordre, fournit des chiffres voisins ou des chiffres variant régulièrement alors que, par le développement de certains facteurs, on doit s'attendre à des changements relativement importants et irréguliers, on sera amené à suspecter la sincérité de l'agent, à supposer que celui-ci se borne chaque année à modifier arbitrairement les chiffres de l'année précédente.

Comme on l'a dit plus haut, les relevés par masses ne sauraient constituer de bonnes observations statistiques ; à ce procédé suranné, on tend de plus en plus à substituer le système du dépouillement central de formules individuelles.

Au contraire, il peut arriver que des résultats manifestent une irrégularité anormale ; ainsi dans un tableau de répartition de la population par âges, l'accumulation des unités aux environs des âges ronds résulte de la négligence ou de

l'ignorance des habitants qui substituent un âge approximatif à l'âge exact dans leur déclaration. On est alors conduit à modifier les questionnaires pour accroître la précision des réponses, ou à compenser les erreurs de déclaration par l'emploi de l'interpolation.

Enfin, on est rarement dans l'ignorance complète des conditions du phénomène soumis à l'investigation statistique. Certains indices permettent souvent d'apprécier le sens ou l'importance approximative de ses manifestations. Si la valeur observée s'écarte beaucoup de la valeur à laquelle on devait s'attendre, on est amené à la suspecter et à la vérifier plus soigneusement. Par exemple des voyageurs ont rapporté que dans certaines contrées les naissances féminines sont plus nombreuses que les masculines. Le fait en soi n'a rien de contradictoire ; toutefois il est en désaccord avec l'universalité des observations sérieuses effectuées dans tous les pays où l'on tient un compte exact des naissances et des décès. On est donc amené à suspecter l'observation. L'erreur — si erreur il y a, — s'expliquerait d'ailleurs aisément. L'explorateur s'est borné à enregistrer un fait accidentel comme s'il était général. Ou bien, ce qui est plus probable encore, il a constaté que le nombre de femmes était supérieur à celui des hommes et il en a conclu la même relation dans les naissances, oubliant les effets de la mortalité.

Interprétation des résultats de l'observa — L'interprétation des observations statistiq comporte aussi un fréquent recours au prin de compensation.

Aucun des résultats fournis par la mise en œuvre, en effet, ne vaut en principe pour les cas individuels ; tous s'appliquent à des ensembles, à des collections.

De même que les observations statistiques dignes de ce nom ont porté sur des unités dont le dénombrement a fourni le résultat : total, rapport, moyenne, indice, etc., et non directement sur ce résultat lui-même, de même l'interprétation donne naissance à un concept qui dépasse le groupe des observations, sans pourtant qu'aucune modification soit apportée aux faits observés. Mais on généralise ceux-ci par le rapprochement des résultats, par leur comparaison à l'aide des procédés de la logique. Toutefois les méthodes qui conviennent aux sciences expérimentales, et qui sont fondées sur la possibilité d'isoler une circonstance parmi toutes celles qui coexistent dans un phénomène, s'appliquent mal aux sciences d'observation dans lesquelles un fait ne peut jamais, à beaucoup près, être répété tel qu'il s'est produit et où l'invariabilité des circonstances adjacentes, à l'exception d'une seule, n'est jamais réalisée. Supposer que les conditions des méthodes les plus rigoureuses de la recherche expérimentale sont susceptibles d'être réalisées approximativement est en somme contradictoire avec le principe de ces méthodes. Il semble plus conforme à l'esprit des principes logiques de réserver aux sciences expérimentales les méthodes d'isolement et de ne considérer comme applicable

action des faits complexes que la méthode des iations concomitantes, dont ne diffèrent guère autres méthodes dès que l'uniformité ou l'iniabilité des circonstances ne peut être certifiée.

Lorsqu'on a constaté qu'un médicament guérit une maladie dans le plus grand nombre des cas, bien que les circonstances qui accompagnent les divers cas de guérison semblent avoir toutes varié, l'administration du remède constituant le seul antécédent invariable, ou bien si l'on affirme que les circonstances adjacentes n'ont eu aucune influence décisive, on énonce implicitement une série d'hypothèses assez dangereuses parce qu'elles sont dissimulées.

On appliquerait aussi défavorablement la méthode inverse si l'on disait qu'ayant éprouvé la vertu du médicament dans des cas semblables, le supprimant dans certains de ces cas, l'administrant dans d'autres, on a constaté un plus grand nombre de guérisons dans les seconds que dans les premiers. En réalité, au milieu des circonstances qui coopèrent à l'état de santé ou de maladie, on a remarqué que, chez les malades, l'état de santé reparaissait plus fréquemment lorsqu'on avait administré le médicament que lorsque celui-ci était absent. On a ainsi noté un certain nombre de coïncidences ou, pour être plus précis, un certain nombre de concordances et un certain nombre de discordances. Avant d'interpréter, il faut peser cette connotation ; c'est à quoi s'emploie la méthode statistique.

La comparaison la plus habituelle rapproche les diverses modalités d'un même phénomène, suivant le temps, caractère commun de tous les phénomènes. On notera par exemple la fix[illegible] moyenne du rapport des naissances masculi aux naissances féminines, l'accroissement régul de la taille suivant l'âge, les oscillations annue

du portefeuille des banques, les oscillations saisonnières de l'activité du travail, etc. Ces mouvements révèlent des changements souvent significatifs, surtout quand on les compare à d'autres changements. Bien que la durée ne soit pas le seul élément qui ait varié dans le cours de l'observation, le phénomène étudié a généralement conservé son caractère et ses limites. D'ailleurs, on tiendra soigneusement compte des modifications qui pourraient être dues aux circonstances capables d'influencer notablement les résultats, en dehors de celles que l'on convient de synthétiser par la conception de la durée.

On appréciera de même les variations du phénomène étudié quand change la situation dans l'espace, caractère distinctif commun de tous les phénomènes de même date.

Il importe encore ici de tenir compte des modifications dues à des agents particuliers qu'il est préférable de séparer des circonstances générales de lieu. Si par exemple on compare la criminalité de différents pays et qu'on groupe sous la catégorie de lieu les circonstances telles que : climat, nature du sol, race, histoire, régime politique et administratif, etc., avant de porter un jugement sur la proportion différente des criminels, il faut au moins tenir compte des autres facteurs : définition plus ou moins conforme des crimes, forme et activité de l'inculpation, degré d'agglomération des habitants, etc., indépendamment des précautions ordinaires relatives à la préparation et au mode de publication des statistiques.

Dans ces comparaisons, on doit en somme

s'attacher à respecter aussi bien que possible les règles techniques et veiller à l'uniformité des choses comparées. Avant de caractériser un rapport par une valeur numérique, il convient de faire en sorte que cette valeur ne soit point directement influencée par des circonstances autres que celle dont on étudie la relation. Si, dans deux localités, on constate des proportions différentes de décès par fièvre typhoïde, par rapport au total des décès, on ne peut tirer parti de cette constatation sous une hypothèse relative aux effets des autres causes de décès, tandis qu'on évite cette hypothèse lorsqu'on rapporte le nombre des décès typhoïdaux au nombre des habitants.

Les faits collectifs considérés à une même époque et en un même lieu possédant un troisième caractère distinctif, commun à tous les phénomènes de même date et ramenés à la même position, leur masse. La masse est un facteur capital de l'estimation. Une tribu peut contenir une plus forte proportion de nains qu'une grande nation sans que la race soit différente. Un village peut compter, relativement à sa population, beaucoup plus de décès que l'ensemble du pays sans qu'il y ait lieu d'incriminer son état sanitaire ; pour expliquer le fait, il suffit de considérer l'importance relative des deux populations.

Sous cet aspect, la considération de la masse appartient en propre à la méthode statistique : c'est elle qui signale les anomalies réelles, permet une exacte conception de l'anomalie.

Un exemple précisera l'un des modes d'ar

cation de la méthode comparative usitée en statistique et les limites de cette application. Comparons le nombre des décès survenus au cours d'une année dans deux pays comme la Belgique et la France : cette comparaison est en soi bien peu instructive — elle eût été cependant autrefois matière à dissertation. Elle acquiert plus d'intérêt si l'on indique en même temps, au moins, le nombre des habitants de chaque pays, de façon à permettre le calcul d'un nombre moyen. En effet, parmi les facteurs susceptibles de faire varier la mortalité, et dont la connaissance est précisément l'un des buts de la comparaison, le nombre des habitants est l'un des plus significatifs. Le nombre moyen des décès par mille habitants élimine ce facteur et simplifie l'étude des autres. On remarquera alors que la composition de la population par âge est un second facteur important qu'on élimine à son tour en comparant des groupes d'habitants de même âge, ou à peu près ; puis on passera à d'autres facteurs : sexe, saison, habitat, profession, ordre de naissance, état sanitaire, etc.

Par cette cascade de groupements dont les éléments de variabilité sont de moins en moins nombreux, les moyennes successives sont progressivement débarrassées des influences de facteurs dont le nombre va croissant. Les groupes successifs sont de moins en moins hétérogènes, jusqu'aux groupes limites où l'un d'eux ne comprendrait qu'un seul individu.

On est alors ramené au point de départ sque le nombre des habitants et celui des ès, résultent de comptages, individu par ividu. On a parcouru un cercle, mais ce n'est

point un cercle vicieux puisqu'à chaque pas on a recueilli un enseignement nouveau, isolé un facteur parmi ceux qui déterminent le phénomène étudié.

Toutefois, pour obtenir l'isolement des facteurs déterminants, il faudrait une décomposition infiniment plus étendue, des divisions innombrables, ce qui est impossible puisqu'il s'en faut énormément que toute catégorie possible comprenne un individu. La réalité n'est qu'un vestige dans l'immense étendue des possibilités. Celles-ci ne forment pourtant point un cahos.

Arrêtons-nous à un moment de la décomposition par groupes, par exemple quand la population a été divisée par âges. Le groupe des hommes de trente ans, par exemple, tel qu'on l'observe n'est qu'un échantillon dans la masse imaginable des groupes d'hommes de trente ans, comportant toutes les valeurs possibles du taux de mortalité à cet âge. Si l'on classait tous les groupes possibles, on verrait que les taux de mortalité de ces différents groupes se concentrent autour d'un taux moyen applicable à l'ensemble des groupes. Cette concentration est d'autant plus forte — et la variabilité relative d'autant moins grande — que le groupe comprend un plus grand nombre d'individus, c'est-à-dire que le champ d'observation est plus grand. Le taux de mortalité du groupe observé sera donc généralement d'autant plus voisin du taux moyen applicable à l'ensemble des groupes possibles d'hommes de trente ans, que ce groupe est plus important. C'est-à-dire que sa valeur sera d'autant mieux significative de l'influence de l'âge, quand on la compare par exemple au taux de mortalité à vingt-neuf

ans, que le groupe dont elle est issue est plus nombreux.

Or, la décomposition par groupes avait pour but d'obtenir des collectivités de moins en moins variables. Une cause de variabilité disparaît quand on élimine un facteur de la mortalité. Mais comme cette élimination diminue l'étendue du champ d'observation, une autre cause grandit qui tend à accroître cette variabilité. La mesure de l'effet de cette dernière cause permet d'arrêter la décomposition au moment opportun.

La décomposition des groupes où les éléments sont peu variables de l'un à l'autre rapproche la distribution de ces éléments d'une forme limite idéale, dite *normale*. Cette forme normale sert d'instrument de comparaison. Grâce à elle, nous pouvons juger, par exemple, s'il convient de regarder comme excessif le taux de mortalité, correctement calculé, d'une localité, par rapport à celui que fournit, soit le pays entier, soit une autre localité plus ou moins peuplée. On s'assure de même que, dans une suite d'années, une année manifestant une forte criminalité rentre ou non dans la catégorie des accidents.

La comparaison des distributions de faits suivant le temps, suivant le lieu, etc., suggère d'ailleurs de nouvelles idées générales. Les idées acquises, par les procédés déjà signalés, sur la régularité d'un grand nombre de manifestations de la vie organique ou de la vie sociale, s'élargissent : 1° Quand les distributions d'individus présentent certains attributs communs tendent des formes caractéristiques relativement uniformes, quels que soient les changements de

temps et de lieu (âges, nuptialité, revenus, etc.); 2° Quand les changements de distribution peuvent servir à définir des variétés (variétés animales, etc.); 3° Quand la modification dans le temps d'une distribution particulière (salaires, revenus, etc.) permet de caractériser une évolution.

Lorsque l'on compare deux coefficients numériques bien choisis pour découvrir un lien entre les faits qu'ils représentent, on note leurs variations concomitantes et l'on compte les cas où ces variations concordent, ceux où elles sont en désaccord. La balance des deux nombres peut servir d'indice de la corrélation des faits, soit que l'on ne tienne pas compte de la grandeur moyenne relative des variations de chaque coefficient, pour ne considérer que leurs grandeurs absolues, soit qu'on en tienne compte. Par exemple, on peut apprécier ainsi que les oscillations des chômages ouvriers sont liées plus étroitement au mouvement général des prix qu'à la production du sol.

La valeur de cet indice ne résulte d'abord que d'une induction par simple énumération, mais elle justifie une généralisation plus parfaite quand on lui associe une analyse des circonstances qui accompagnent les faits comparés.

Les variations dont on mesure en quelque sorte l'accord ou le désaccord peuvent être utilement classées par séries. Ainsi, un fait peut montrer des variations de sens différents selon qu'on l'observe dans le cours d'une année ou plusieurs années, sur des périodes séculaires: portefeuille et l'encaisse d'une banque d'é

sion peuvent s'accroître simultanément quand on examine les résultats d'une longue période, tandis qu'ils varient en sens inverse sur de courts intervalles. On classe les variations des divers ordres à l'aide de l'interpolation.

De même, le classement des variations comparées peut s'opérer avec avantage suivant le lieu ou suivant l'agglomération.

Les progrès de la technique permettent même de comparer les variations d'un fait statistique avec les variations simultanées de deux autres faits; on pourrait, dans la même voie, essayer de relier par une formule les variations d'un phénomène à celles des autres phénomènes coexistants, mais la complexité de l'étude devient dangereuse; il est actuellement préférable de ne porter les investigations numériques que sur les associations les plus restreintes.

Enfin, bien que la statistique ait pour objet la détermination de rapports de quantité, on a appliqué ses méthodes à l'étude comparative de résultats qualitatifs. Par exemple, pour apprécier le degré d'hérédité de la couleur des yeux, le classement des parents et des descendants s'effectue à l'aide d'une gamme de teintes qui ne saurait comporter de relation de grandeur. Néanmoins, sous certaines hypothèses, Galton a pu comparer, sous une forme numérique, le classement corrélatif à celui que fournissent des mesures d'objets sans corrélation.

Ces modes d'investigation, dont les résultats ... contrôlés par des contre-épreuves, permettent d'ordonner les faits observés, d'en faire des rapports convenablement appréciés

et, tout au moins, de limiter le champ de l'interprétation.

Bien qu'elle soit impuissante à isoler des autres les circonstances opérantes, la statistique dispose pourtant de moyens de recherche assez nombreux et précis. Celui qui l'interroge, dans un esprit purement scientifique, peut lui demander beaucoup de services s'il a pris la peine de réfléchir aux relations qualitatives des objets de son étude et aux limites de l'intervention numérique.

Dans l'analyse des observations complexes, on marche souvent à tâtons : il n'en saurait être différemment, puisqu'il s'agit de découvrir des liens invisibles; on ne parvient point autrement à éviter les embûches que dressent les déductions hâtives ou les inductions insuffisamment fondées.

III. — Valeur de la statistique

Dépassant les cadres des relevés directement utiles à l'Administration, la statistique a d'abord embrassé tous les éléments notables de l'organisation et du fonctionnement des Etats et facilité des prévisions utiles à l'art politique.

Elle a acquis plus de portée quand, à la lumière de ses observations, elle a pu établir entre les faits sociaux des rapports permanents, non plus particuliers à telle ou telle Société, mais offrant un caractère général et dominant toutes les sociétés humaines; non plus spéciaux aux caractères physiques ou économiques, mais gouvernant toutes les manifestations de l'activité de l'homme, même dans ui certaine mesure, celles qui sont soumises à volonté, à la psychologie de l'être humain.

La statistique a donc beaucoup contribué à démontrer que les faits sociaux, de même que les autres faits naturels, comportent un certain déterminisme, que les prévisions peuvent s'appuyer moins sur des constatations empiriques que sur des rapports liés à la nature humaine.

En donnant à la science sociale l'appui nécessaire du nombre et de la mesure, la statistique a suggéré la pensée qu'on pouvait la considérer elle-même comme la science sociale par excellence, qu'elle devait aboutir à des lois sociales, de même que l'étude des phénomènes matériels de la nature a conduit aux lois physiques.

L'idée que l'on se faisait alors des caractères de la science en général s'est modifiée. Dailleurs, il apparut assez vite que la statistique ne pouvait, à elle seule, constituer la science sociale si toutefois une telle science parvenait à se constituer. De nombreuses branches ont jailli de l'étude des Sociétés humaines, qui font une part très inégale à l'analyse numérique des faits dont elles traitent : les unes, comme la démographie, lui demandent presque tous leurs éléments ; d'autres, comme la morale, n'y font appel qu'à titre accessoire, à titre d'exemple, pour ainsi dire. Peut-être chacune de ces branches se diviserat-elle quelque jour en rameaux dont l'un fera intervenir d'une façon prédominante la statistique, de même que dans d'autres disciplines on a vu naître des catégories spéciales, telle que optique géométrique, la géodésie, la physique mathématique, la physiologie chimique, etc. Par contre, la méthode statistique a été utilisée dans d'autres directions : par exemple, en bio-

logie, à propos de la morphologie animale ou végétale et de l'hérédité; en physique, où s'est introduite une « mécanique statistique » appropriée à la théorie des mouvements corpusculaires; en psychologie, dans la branche psychophysique.

Une méthode aussi générale doit être fondée sur un principe qui la distingue des autres : pour la statistique, ce principe est celui que nous avons invoqué au cours des trois étapes : observation, mise en œuvre, interprétation, en mettant en garde contre toute méprise. C'est le *principe de compensation*, suivant l'expression de Cournot. Nous essaierons d'en préciser le caractère.

Ce principe est d'une application universelle. Quételet a signalé l'usage fréquent qu'en on fait les anciens, et particulièrement Archimède. Il donne la formule d'un marché équitable : peu importent les inégalités partielles si le total est ce qu'on attend. Par extension, on déduit de ce principe un élément de comparaison de grandeurs collectives. Deux collections envisagées du point de vue des grandeurs qui les composent diffèrent en général, à la fois par le nombre et par la valeur de ces grandeurs. Les comparer est donc une opération complexe; pour la simplifier, on fait abstraction du nombre pour ne considérer que la valeur totale, *à nombre égal*, à quoi l'on parvient en calculant la *moyenne*. Le calcul revient à remplacer mentalement chaque collectivité par une autre où les inégalités se trouveraient compensées, toutes les grandeurs étant rendues égales à leur moyenne.

Puisque, par l'application du principe compensation, la moyenne devient un insti

ment de comparaison numérique universel, il est naturel de représenter toute collectivité de grandeurs, associées d'après un certain attribut, par la grandeur moyenne.

Toutefois, on ne saurait faire abstraction du témoignage des sens, qui fournit parfois d'autres représentations. C'est bien à la moyenne que correspond la notion du centre de gravité. Mais supposons qu'on ait à définir la position d'un corps de troupe. Si cette troupe est une ligne oblique de tirailleurs, on marquera commodément sa position par rapport à d'autres troupes en signalant le point *médian* de la ligne, à partir duquel on compte autant d'hommes d'un côté que de l'autre. S'il s'agit d'une armée en évolution, on notera l'endroit où se trouve le gros des troupes, c'est-à-dire l'emplacement de la masse *dominante*.

C'est encore la masse dominante que l'œil saisit quand il cherche à évaluer d'un regard l'élévation d'une chaîne de collines ou la hauteur commune des arbres d'une forêt. Tandis que, pour un projet de chemin de fer de montagne, il importe davantage de déterminer la hauteur totale, et par conséquent la moyenne hauteur, des collines à franchir, de même que le marchand de bois a intérêt à supputer la hauteur moyenne des arbres plutôt que leur hauteur dominante.

Le choix d'une grandeur capable de représenter à l'esprit toute une collectivité dépend, on le voit, autant du but de l'observation que des moyens dont on dispose. Pour que la représentation soit pleinement objective, il convient d'abord que les éléments de comparaison et

d'estimation que nous venons de signaler fournissent la même valeur; la valeur moyenne, la valeur médiane, la valeur dominante doivent alors être confondues.

Il en doit être ainsi, en particulier, quand les grandeurs observées en groupe ne diffèrent entre elles — ou sont supposées ne différer — qu'en raison de l'insuffisance des moyens d'observation, par exemple lorsqu'on mesure un même objet un certain nombre de fois.

De plus, on convient de ne point accepter que l'insuffisance des moyens d'observer se manifeste d'un côté plutôt que de l'autre de la moyenne. Si, par exemple, les grandeurs excédant la moyenne d'une certaine quantité sont plus nombreuses que celles qui en diffèrent par défaut de la même quantité, le principe de raison suffisante engage à imputer cette différence au compte d'une défectuosité de l'observation qu'il importe de déceler et de corriger. Il en résulte que les observations bien faites doivent se distribuer symétriquement de chaque côté de la moyenne; la compensation s'opère sous une forme plus précise que dans le cas général.

Effectivement, les observations bien faites présentent généralement cette symétrie; il en résulte que la moyenne correspond à l'axe de symétrie. La valeur dominante étant confondue avec la moyenne, les observations sont en quelque sorte concentrées autour de cette moyenne. La même forme de distribution se reconnaît, au moins approximativement, dans un grand nombre de collectivités de faits naturels. En sorte que généralité de ce mode de distribution engag relier les faits si différents qu'il gouverne r

une explication. On y parvient à l'aide de schémas représentatifs assez simples, tels que le suivant.

Quand on relie, par la pensée, un fait à ceux de ses antécédents qui le conditionnent, on peut toujours imaginer chaque antécédent décomposé en causes élémentaires nombreuses dont chacune ne comporte qu'un petit effet. Le fait mesuré est la somme de ces petits effets.

D'autre part, en distinguant nettement chaque effet de sa cause, on laisse concevoir une certaine variabilité de l'effet sous l'influence de circonstances extérieures à la cause : ainsi chaque effet élémentaire peut prendre des valeurs différentes. Pour raisonner sur ces valeurs, une hypothèse est nécessaire; on la choisit la plus simple possible, on admet que ces valeurs sont régulièrement échelonnées : par exemple, on peut les exprimer par la suite 1, 2, 3..... *m*, cette même suite convenant pour tous les effets élémentaires, et l'on suppose que, pour chaque effet, chacune de ces grandeurs ne doit être prise qu'une fois. Cette hypothèse correspond, par exemple, au cas où l'on effectue une mesure et où l'effet d'une cause d'erreur échappant entièrement à la perception, on n'a pas de raison de supposer telle grandeur de l'effet plus fréquente que telle autre.

Dès lors, le fait mesuré est l'un des effets résultants possibles qu'on peut obtenir en associant de toutes les manières les grandeurs dont ont susceptibles les effets partiels élémentaires. t ce mode de représentation permet de se rendre mpte de la façon dont se distribuent ces effets sultants possibles.

D'abord, l'amplitude de cette distribution résultante est plus grande que l'amplitude de chaque effet élémentaire. Car le plus petit des effets résultants possibles s'obtient en associant les effets élémentaires les plus petits : $1+1+\ldots\ldots+1$, soit n s'il y a n causes; le plus grand s'obtient en associant les effets élémentaires les plus grands : $m+m+\ldots\ldots+m$, soit $m \times n$, s'il y a n causes. L'amplitude du plus petit au plus grand des effets résultants est donc $m\ n$; elle augmente proportionnellement au nombre des causes. Mais, en second lieu, le nombre des associations possibles s'accroît beaucoup plus vite, car il est égal au produit de n nombres égaux à m, ce qu'on écrit m^n.

Dès lors, lorque le nombre n des causes augmente, les effets résultants se tassent de plus en plus. En outre, les effets résultants les plus petits ou les plus grands ne se peuvent manifester que par l'association d'effets élémentaires petits ou grands, tandis que les effets résultants intermédiaires peuvent se produire d'un nombre de manières d'autant plus grand que le nombre des causes est plus grand. Le tassement s'opère donc autour de la moyenne et non aux extrémités de la distribution; il est d'autant plus compact que le nombre des causes considérées est plus grand.

A l'aide de ce schéma, on se rend compte qu'une observation faite dans une masse peut s'écarter de la moyenne d'autant plus que la masse est plus considérable; qu'un groupe d'observations destiné à représenter une collecti[illegible] ou à en fixer la moyenne, avec une cer[illegible] approximation, doit être d'autant plus nom[illegible]

que la collectivité d'où les observations sont extraites est plus importante. Cette remarque est parfois méconnue, notamment dans les observations anthropométriques.

Pour illustrer ce qui précède, considérons les ouvriers d'une mine, dont le salaire soit fixé par tonne de minerai extrait, et suivons le mouvement du gain journalier de ces ouvriers, calculé sur des périodes de temps égales. Admettons que, pendant une première période de temps, ces ouvriers, novices dans le métier, réalisent tous le même gain journalier, 3 francs. Au cours de la seconde période, les aptitudes commencent à se différencier; tandis qu'une partie des ouvriers parvient à gagner 3 fr. 05, d'autres gagnent 3 fr. 10, 3 fr. 15, 3 fr. 20. Supposons égales les fractions du personnel total correspondant aux différentes valeurs de l'augmentation, valeurs que l'on peut représenter par les nombres 1, 2, 3, 4. A la fin de la troisième période, nous pouvons admettre qu'un pareil effort amènera dans chacune des fractions précédentes une élévation semblable du gain journalier, et ainsi de suite.

A la fin d'une période quelconque, les ouvriers étant répartis par groupes suivant la valeur de l'augmentation réalisée sur le chiffre initial de 3 francs, l'augmentation, pour un groupe particulier, est le total des augmentations élémentaires; les ouvriers se distribuent donc comme

effets résultants du schéma précédent. Dans
/pothèse où l'on s'est placé, d'une égale répar-
-n des ouvriers à chaque degré d'augmenta-
- la distribution finale est symétrique.

Pourtant, si l'on observe la distribution effective des salaires d'un groupe d'ouvriers, on s'aperçoit que celle-ci est généralement assez éloignée de la symétrie. Le schéma représentatif est donc en défaut ; il n'est point assez général. On a supposé que les effets d'une même cause se distribuaient avec une égale fréquence entre des valeurs régulièrement échelonnées 1, 2... *m*. Cette hypothèse est trop simple; il faut lui en substituer une autre un peu moins simple. Ou bien l'on admettra que la fréquence des effets possibles d'une même cause varie régulièrement, ce qui revient à supposer une répétition des mêmes valeurs, le nombre des répétitions diminuant régulièrement d'une valeur à l'autre, comme par exemple dans le schéma suivant : 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 3, 3, 4. Ou bien l'on supposera une égale fréquence des effets de différentes valeurs, mais ces valeurs se succédant à intervalles croissant ou décroissant régulièrement : par exemple, l'effet de chaque cause serait représenté par la suite 1, 2, 3, 5, 9.

Ces deux hypothèses, qui se ramènent d'ailleurs aisément l'une à l'autre, conduisent au même résultat : la valeur dominante, celle autour de laquelle se massent les effets résultants, ne divise plus la distribution en deux parties symétriques, elle dévie vers le côté où les répétitions des effets élémentaires possibles sont le plus nombreuses, ou vers le côté où les effets sont le moins dispersés.

L'exemple des ouvriers mineurs va nous fo nir une application de ces deux dernières forr schématiques. On a supposé précédemment

les ouvriers d'égal revenu se partageaient à chaque période en deux groupes égaux. Cela revenait à admettre que leurs activités et leurs aptitudes se répartissaient de la même façon. Or, il n'en est rien. En fait, les ouvriers capables sont moins nombreux que les autres.

Imaginons qu'au cours de la seconde période de temps deux tiers des ouvriers voient leur gain augmenter de 0 fr. 10, tandis que pour le tiers restant le gain journalier augmente de 0 fr. 20. Au lieu de deux groupes égaux, dont l'un comporte un accroissement de 10 et l'autre de 20, ce que nous représentons par la suite 10, 20, nous devons supposer que l'augmentation 10, réalisée deux fois plus fréquemment que 20, intervient avec un poids double, ce que l'on exprime schématiquement en représentant la suite des effets élémentaires possibles dans cette période, non plus par 10, 20, mais par 10, 10, 20, c'est-à-dire en répétant certaines valeurs. De même pour les autres périodes : la distribution des effets résultants prend donc une forme déviée.

Dans cette analyse de l'accroissement des revenus, la cause de l'accroissement est intérieure. Considérons une cause extérieure, par exemple une augmentation du prix de la tonne extraite. Si les ouvriers bénéficiaient également de cette augmentation, leur distribution ne serait pas modifiée. Mais la hausse profite naturellement davantage aux ouvriers les plus actifs ou les plus habiles, à ceux, par conséquent, qui ont déjà le plus fort revenu.

Si, avant l'augmentation, on supposait les ouvriers répartis en trois groupes égaux dont les revenus sont représentés par les nombres 1, 2, 3,

après l'augmentation, ceux qui gagnent 1 verront par exemple leur revenu s'élever de 1 à 2; ceux qui gagnent 2, s'ils conservent aussi leur activité propre, verront leur revenu s'élever de 2 à 4. En sorte qu'à ce moment, les effets élémentaires de la cause d'augmentation considérés peuvent être représentés schématiquement par la suite 1, 2, 4 (au lieu de 1, 2, 3). Le second intervalle de deux valeurs étant deux fois plus grand que le premier, la distribution des effets résultants aura même forme que dans le cas précédent où les effets élémentaires sont représentés par la suite 1, 1, 2.

Le changement de tarif a le même effet que l'accroissement d'activité et d'habileté : il accroît l'inégalité des revenus et fait dévier la distribution du côté des plus faibles revenus.

Revenons maintenant au cas examiné en premier lieu, celui où, par suite de leurs aptitudes différentes, les ouvriers se divisent en groupes égaux qui obtiennent des accroissements de salaire différents, représentés par 1, 2, 3, 4. On peut analyser plus complètement la situation de ce personnel si, par le procédé indiqué à propos de l'interprétation des statistiques, on considère séparément les groupes qui ont obtenu les diverses augmentations, le groupe dont le gain s'est accru de 1, par exemple. On s'aperçoit alors que l'accroissement n'est point exactement de 1 pour tous les ouvriers de ce groupe parce que, indépendamment des aptitudes, d'autres circonstances fort nombreuses font varier le salaire : état plus ou moins régulier de la veine, difficulté des boisages, des transports, état de santé,

Dans ce groupe, nous pourrions donc distinguer des sous-groupes pour lesquels les augmentations seraient encore régulièrement échelonnées, par exemple :

$$1 - 2\alpha,\ 1 - \alpha,\ 1,\ 1 + \alpha,\ 1 + 2\alpha$$

On est alors amené à pousser la décomposition plus loin, de façon à diviser les causes en éléments plus simples, moins variables, ce qui restreint l'amplitude des valeurs de l'effet, en même temps que les causes élémentaires considérées se multiplient.

On peut imaginer la décomposition poussée jusqu'au moment où l'échelle de possibilité d'un effet n'a que deux degrés. Car, au delà, l'effet serait le même pour tous les individus, ce serait l'homogénéité parfaite, tous les ouvriers identiques quant au taux de leur revenu. La nature ne fournit pas d'exemple de groupes d'individus identiques. La limite imposée à la décomposition par groupes d'une masse hétérogène correspond donc au schéma le plus simple, celui où, pour chaque cause élémentaire, l'effet se réduit à une alternative, telle que *a* ou *b*, le nombre des causes s'étant accru indéfiniment.

Ce schéma peut être remplacé d'une façon plus expressive par la courbe qui représente la distribution des effets résultants, courbe à laquelle on a donné le nom de courbe normale.

De la même façon, le schéma qui donnait naissance aux courbes déviées peut être ramené à s types simples dans lesquels chaque cause mentaire comporte une alternative dont l'un s termes est susceptible de répétitions, tel

que *a*, *a*, *b*. On obtient ainsi d'autres courbes limites, mais les distributions qu'elles représentent sont parfois susceptibles d'être décomposées par groupes de façon à éliminer les causes de déviation et à faire apparaître la courbe normale.

Ces formes limites, qui résultent d'une conception idéale du jeu des causes et des effets, et de l'association des effets, permettent de sérier les distributions d'observations naturelles classées d'après quelque caractère commun. Elles suggèrent par celà même une classification des causes qui ont produit ces distributions.

La forme normale, en particulier, marque la limite des décompositions utiles à l'analyse numérique ; elle aide ainsi à préciser la nature des causes opérantes.

Par ces décompositions judicieusement interprétées, la statistique obtient des déterminations objectives sur des masses hétérogènes, tandis que la méthode expérimentale s'applique aux faits réputés homogènes. Inférieure à la méthode expérimentale pour l'acquisition de la certitude, la statistique est plutôt l'instrument nécessaire d'une limitation progressive de l'erreur.

Ces remarques justifient, semble-t-il, la conception d'après laquelle la statistique est regardée comme une méthode. On ajoute souvent que cette méthode n'ayant point de développement dans un objet particulier ne saurait constituer une science.

Il est bon, en effet, de réagir contre l'ancien tendance à considérer la statistique comme science des Sociétés humaines, sinon comme

science de toutes les choses auxquelles elle s'applique. De plus, on doit reconnaître que les recherches statistiques ne peuvent conduire à l'expression de lois semblables aux lois physiques : pas plus qu'il n'existerait de lois physiques pour des êtres subtils habitant les atomes.

Toutefois, il nous semble que la nouvelle manière de voir se fonde sur une vue un peu étroite des caractères de la science.

Une méthode qui groupe un ensemble de règles, même scientifiquement déduites, peut ne point mériter le nom de science quand elle n'est que l'instrument d'une étude particulière. Les règles utiles aux prospections géologiques ne composent ni la science de la géologie ni même une science distincte.

Mais une méthode qui s'applique à un grand nombre d'espèces différentes, qui même, sous certains aspects, peut trouver des applications dans la plupart des branches du savoir, n'offre-t-elle pas, par sa généralité même, par les propriétés fondamentales qui expliquent cette généralité, le caractère principal de la science? N'est-elle point comme une langue commune nécessaire pour raisonner sur des impressions complexes, toutes les fois que ces impressions ne se fondent point en une apparence homogène? Tel était, semble-t-il, l'avis de Cournot.

« La statistique, a dit plus tard Léon Say, est la science des dénombrements », entendant par là qu'elle se sert des dénombrements pour découvrir des régularités.

Si, au lieu de baser sa définition sur le procédé qui lui est propre, on s'attachait de préférence à

son objet, on pourrait dire, dans le même esprit, qu'elle est la science des faits considérés comme collectivités, la science de l'hétérogène, la *plétho-métrie*.

Quelque place que, dans le cercle de la connaissance, l'avenir réserve à la théorie statistique, dans l'ordre des applications cette théorie prête aux sciences inacessibles à l'expérience provoquée un concours nécessaire. Elle limite les conjectures, en précisant le caractère objectif des résultats de l'observation, et par là, elle contribue à accroître la valeur scientifique de ces résultats.

L. MARCH,
Directeur de la Statistique générale de la France.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos, par Émile Borel, sous-directeur de l'École Normale supérieure, professeur à la Sorbonne. 1

Astronomie, jusqu'au milieu du XVIIIe siècle, par B. Baillaud, de l'Institut, directeur de l'Observatoire de Paris 1

Chimie physique, par Jean Perrin, professeur à la Sorbonne. 65

Géologie, par Léon Bertrand, professeur adjoint à la Sorbonne. 89

Paléobotanique, par R. Zeiller, de l'Institut, professeur à l'École des Mines 131

Botanique, par L. Blaringhem, chargé de cours à la Sorbonne. 157

Archéologie, par Salomon Reinach, de l'Institut. . 199

Histoire littéraire, par G. Lanson, professeur à la Sorbonne. 221

Linguistique, par A. Meillet, professeur au Collège de France 265

Statistique, par Lucien March, directeur de la Statistique générale de la France. 315

LIBRAIRIE FÉLIX ALCAN

DE LA

MÉTHODE DANS LES SCIENCES

(PREMIÈRE SÉRIE)

1 vol. in-16 de la *Collection scientifique*, 2e édit. . . . . 3 fr. 50

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos, par P.-F. THOMAS, docteur ès lettres, agrégé de philosophie.

De la Science, par Émile PICARD, de l'Académie des Sciences, professeur à la Sorbonne.

Mathématiques pures, par Jules TANNERY, de l'Institut, sous-directeur de l'Ecole normale supérieure

Mécanique, par P. PAINLEVÉ, de l'Institut, professeur à la Sorbonne.

Physique générale, par H. BOUASSE, professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

Chimie, par A. JOB, professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

Morphologie, par A. GIARD, de l'Institut, professeur à la Sorbonne.

Physiologie, par F. LE DANTEC, chargé de cours à la Sorbonne.

Sciences médicales, par Pierre DELBET, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris.

Psychologie, par Th. RIBOT, de l'Institut, professeur honoraire au Collège de France.

Sociologie et Sciences sociales, par E. DURKHEIM, professeur à la Sorbonne.

Morale, par L. LÉVY-BRUHL, professeur à la Sorbonne.

Histoire, par G. MONOD, de l'Institut, chargé de cours au Collège de France.

ÉVREUX

IMPRIMERIE CHARLES HÉRISSEY

4, RUE DE LA BANQUE

LIBRAIRIE FÉLIX ALCAN, 108, boul. Saint-Germain, PARIS (6e)

NOUVELLE COLLECTION SCIENTIFIQUE

Directeur : ÉMILE BOREL

VOLUMES IN-16 A 3 FR. 50 L'UN.

L'Évolution des Plantes, par NOËL BERNARD, professeur à l'Université de Poitiers; préface de M. COSTANTIN, de l'Institut (avec figures).

Le Combat, par le général PERCIN, 2e édition.

Le Hasard, par E. BOREL. 3e édition.

Henri Poincaré. *L'Œuvre scientifique, l'Œuvre philosophique*, par V. VOLTERRA, J. HADAMARD, P. LANGEVIN, P. BOUTROUX.

Le Froid industriel, par L. MARCHIS, professeur à la Faculté des sciences de Paris (avec 104 figures).

Le Système du Monde *des Chaldéens à Newton*, par JULES SAGERET. III.

L'Aviation, par PAUL PAINLEVÉ, E. BOREL et Ch. MAURAIN, 6e éd., revue et augmentée (avec 48 figures).

L'Artillerie de campagne. *Son histoire, son évolution, son état actuel*, par H. BUAT, lieutenant-colonel d'artillerie (avec 73 gravures).

La Question de la Population, par P. LEROY-BEAULIEU, membre de l'Institut, professeur au Collège de France (*Récompensé par l'Institut*). 3e édition.

Les Atomes, par JEAN PERRIN, professeur de chimie physique à la Sorbonne (avec 16 gravures, 5e édition. (*Couronné par l'Académie des Sciences.*)

Le Maroc physique, par LOUIS GENTIL, professeur adjoint à la Sorbonne, directeur de l'Institut de recherches scientifiques de Rabat (*avec cartes*).

La Race slave, par NIEDERLE, prof. à l'Université de Prague, traduit et précédé d'une préface par LOUIS LEGER, de l'Institut. 2e édition avec préface nouvelle, 1916 (avec une carte coloriée).

La Conception mécanique de la vie, par J. LOEB, professeur à l'Université de Berkeley. Traduit de l'anglais par R. MOUTON (avec 58 figures). 1914.

Troubles mentaux et Troubles nerveux de guerre, par GEORGES DUMAS, professeur de Psychologie expérimentale à la Sorbonne.

Éléments de Philosophie biologique, par F. LE DANTEC, chargé du cours de biologie générale à la Sorbonne. 3e édition.

La Voix. *Sa culture physiologique. Théorie nouvelle de la phonation*, par le Dr P. BONNIER, laryngologiste de la clinique médicale de l'Hôtel-Dieu. 4e édit. avec grav.

De la Méthode dans les Sciences :

1re série, par MM. P.-F. THOMAS, docteur ès lettres, professeur de philosophie au lycée Hoche; E. PICARD, de l'Institut; J. TANNERY, de l'Institut; PAINLEVÉ, de l'Institut; BOUASSE, prof. à la Faculté des sciences de Toulouse; JOB, prof. au Conservatoire des Arts et Métiers; A. GIARD, de l'Institut; LE DANTEC, chargé de cours à la Sorbonne; PIERRE DELBET, prof. à la Faculté de médecine de Paris; TH. RIBOT, de l'Institut; DURKHEIM, prof. à la Sorbonne; LÉVY-BRUHL, prof. à la Sorbonne; G. MONOD, de l'Institut. 4e édition.

L'Éducation dans la Famille. *Les péchés des parents*, par P.-F. THOMAS, professeur au lycée Hoche. 4e édition, revue. (*Couronné par l'Institut.*)

La Crise du Transformisme, par F. LE DANTEC. 3e édition.

L'Énergie, par W. OSTWALD, professeur à l'Université de Leipzig, traduit de l'allemand par E. PHILIPPI, licencié ès sciences. 4e édition.

Les États physiques de la Matière, par CH. MAURAIN, professeur à la Faculté des sciences de Caen. 3e édition (avec gravures).

La Chimie de la Matière vivante, par JACQUES DUCLAUX, préparateur à l'Institut Pasteur. 2e édition.

L'Évolution des Théories géologiques, par Stanislas MEUNIER, professeur de géologie au Muséum d'histoire naturelle. Avec gravures.

A LA MÊME LIBRAIRIE

LA REVUE DU MOIS

Fondée en 1905. — DIRECTEUR : ÉMILE BOREL

Paraît le 10 de chaque mois par livraisons de 128 pages grand in-8° (25 × 16)

Chaque année forme deux volumes de 750 à 800 pages chacun

ABONNEMENT

Un an : Paris, **20** fr. — Départements, **22** fr. — Union postale, **25** francs.
Six mois : — **10** fr. — — **11** fr. — — **12** fr. **50**

La livraison, **2** fr. **25**

17-19. — Coulommiers. Imp. PAUL BRODARD. — 4-19.